



This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

- + *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.
- + *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.
- + *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.
- + *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at <http://books.google.com/>



Über dieses Buch

Dies ist ein digitales Exemplar eines Buches, das seit Generationen in den Regalen der Bibliotheken aufbewahrt wurde, bevor es von Google im Rahmen eines Projekts, mit dem die Bücher dieser Welt online verfügbar gemacht werden sollen, sorgfältig gescannt wurde.

Das Buch hat das Urheberrecht überdauert und kann nun öffentlich zugänglich gemacht werden. Ein öffentlich zugängliches Buch ist ein Buch, das niemals Urheberrechten unterlag oder bei dem die Schutzfrist des Urheberrechts abgelaufen ist. Ob ein Buch öffentlich zugänglich ist, kann von Land zu Land unterschiedlich sein. Öffentlich zugängliche Bücher sind unser Tor zur Vergangenheit und stellen ein geschichtliches, kulturelles und wissenschaftliches Vermögen dar, das häufig nur schwierig zu entdecken ist.

Gebrauchsspuren, Anmerkungen und andere Randbemerkungen, die im Originalband enthalten sind, finden sich auch in dieser Datei – eine Erinnerung an die lange Reise, die das Buch vom Verleger zu einer Bibliothek und weiter zu Ihnen hinter sich gebracht hat.

Nutzungsrichtlinien

Google ist stolz, mit Bibliotheken in partnerschaftlicher Zusammenarbeit öffentlich zugängliches Material zu digitalisieren und einer breiten Masse zugänglich zu machen. Öffentlich zugängliche Bücher gehören der Öffentlichkeit, und wir sind nur ihre Hüter. Nichtsdestotrotz ist diese Arbeit kostspielig. Um diese Ressource weiterhin zur Verfügung stellen zu können, haben wir Schritte unternommen, um den Missbrauch durch kommerzielle Parteien zu verhindern. Dazu gehören technische Einschränkungen für automatisierte Abfragen.

Wir bitten Sie um Einhaltung folgender Richtlinien:

- + *Nutzung der Dateien zu nichtkommerziellen Zwecken* Wir haben Google Buchsuche für Endanwender konzipiert und möchten, dass Sie diese Dateien nur für persönliche, nichtkommerzielle Zwecke verwenden.
- + *Keine automatisierten Abfragen* Senden Sie keine automatisierten Abfragen irgendwelcher Art an das Google-System. Wenn Sie Recherchen über maschinelle Übersetzung, optische Zeichenerkennung oder andere Bereiche durchführen, in denen der Zugang zu Text in großen Mengen nützlich ist, wenden Sie sich bitte an uns. Wir fördern die Nutzung des öffentlich zugänglichen Materials für diese Zwecke und können Ihnen unter Umständen helfen.
- + *Beibehaltung von Google-Markenelementen* Das "Wasserzeichen" von Google, das Sie in jeder Datei finden, ist wichtig zur Information über dieses Projekt und hilft den Anwendern weiteres Material über Google Buchsuche zu finden. Bitte entfernen Sie das Wasserzeichen nicht.
- + *Bewegen Sie sich innerhalb der Legalität* Unabhängig von Ihrem Verwendungszweck müssen Sie sich Ihrer Verantwortung bewusst sein, sicherzustellen, dass Ihre Nutzung legal ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass ein Buch, das nach unserem Dafürhalten für Nutzer in den USA öffentlich zugänglich ist, auch für Nutzer in anderen Ländern öffentlich zugänglich ist. Ob ein Buch noch dem Urheberrecht unterliegt, ist von Land zu Land verschieden. Wir können keine Beratung leisten, ob eine bestimmte Nutzung eines bestimmten Buches gesetzlich zulässig ist. Gehen Sie nicht davon aus, dass das Erscheinen eines Buchs in Google Buchsuche bedeutet, dass es in jeder Form und überall auf der Welt verwendet werden kann. Eine Urheberrechtsverletzung kann schwerwiegende Folgen haben.

Über Google Buchsuche

Das Ziel von Google besteht darin, die weltweiten Informationen zu organisieren und allgemein nutzbar und zugänglich zu machen. Google Buchsuche hilft Lesern dabei, die Bücher dieser Welt zu entdecken, und unterstützt Autoren und Verleger dabei, neue Zielgruppen zu erreichen. Den gesamten Buchtext können Sie im Internet unter <http://books.google.com> durchsuchen.

QK

827

G5

UC-NRLF



B 3 887 992

Befruchtung und Vererbung im Pflanzenreiche

von

R. Giesenhagen

Wissenschaft



und Bildung

Verlag von Quelle & Meyer in Leipzig

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY OF CALIFORNIA.

Class BIOLOGY
LIBRARY
G

18-57672

Wissenschaft und Bildung

Einzeldarstellungen aus allen Gebieten des Wissens

Geheftet
1 Mark

Herausgegeben von Privatdozent Dr. Paul Herre
Monatlich 1 bis 2 Bändchen von je 130—160 Seiten *

Orig.-Lbd.
1.25 Mark

Die Sammlung bringt aus der Feder unserer besten Gelehrten in anregender Darstellung und systematischer Vollständigkeit die Ergebnisse wissenschaftlicher Forschung aus allen Wissensgebieten.

Sie will den Leser schnell und mühelos, ohne Fachkenntnisse vorauszusetzen, in das Verständnis aktueller wissenschaftlicher Fragen einführen, ihn in ständiger Fühlung mit den Fortschritten der Wissenschaft halten und ihm so ermöglichen, seinen Bildungsfreis zu erweitern, vorhandene Kenntnisse zu vertiefen, sowie neue Anregungen für die berufliche Tätigkeit zu gewinnen.

Die Sammlung „Wissenschaft und Bildung“ will nicht nur dem Laien eine belehrende und unterhaltende Lektüre, dem Fachmann eine bequeme Zusammenfassung, sondern auch dem Gelehrten ein geeignetes Orientierungsmittel sein, der gern zu einer gemeinverständlichen Darstellung greift, um sich in Kürze über ein seiner Forschung ferner liegendes Gebiet zu unterrichten.

Ein planmäßiger Ausbau der Sammlung wird durch den Herausgeber gewährleistet. Abbildungen werden den in sich abgeschlossenen und einzeln käuflichen Bändchen nach Bedarf in sorgfältiger Auswahl beigegeben.

Bisher erschienen bzw. im Drucke befinden sich:

Unser Deutsch. Einführung in die Muttersprache. Von Geh. Rat Prof. Dr. Kluge in Freiburg i. B. 8°. IV u. 147 S.

„... Professor Kluge in Freiburg, ein hervorragender Forscher auf dem Gebiete der deutschen Sprachwissenschaft, gibt uns in zehn Essays einen Überblick über die gesamte Entwicklung unserer Sprache und verwertet dabei die Ergebnisse seiner bahnbrechenden Forschungen über die deutschen Ständes- und Berufssprachen.“

Bad. Schulzeitung, 1902, Nr. 2.

Der Sagentkreis der Nibelunge. Von Prof. Dr. G. Holz in Leipzig. 8°. IV u. 126 S.

Entstehung, Weiterbildung der Sage, ihre Quellen und ihr geschichtlich-mythischer Ursprung werden untersucht u. ihr Weiterwirken bis in die moderne Literatur verfolgt.

Volksleben im Lande der Bibel. Von Prof. Dr. Löhr in Breslau. 8°. IV u. 134 S. mit zahlreichen Abbildungen.

Verfasser führt uns durch Palästinas heilige Stätten, zeigt uns Land und Leute in ihrer charakteristischen Eigenart und hinterläßt uns so, durch zahlreiche Originalphotographien unterstützt, eine klare Vorstellung von der Eigenart und Bedeutung dieses Landes.

Die Poesie des alten Testaments. Von Prof. Dr. E. König in Bonn. 8°. ca. 140 S.

Unter besonderer Berücksichtigung der vergleichenden Methode und unter Heranziehung der arabischen und babylonischen Literatur wird hier die althebräische Dichtung nach Form und Inhalt eingehend untersucht und psychologisch-ästhetisch analysiert.

Wissenschaft und Bildung

Das davidische Zeitalter. Von Prof. Dr. B. Baentsch in Jena. 8°. IV u. 160 S.

David tritt uns entgegen als Regent, Kriegermann, Politiker und Mensch in seiner weit über das davidische Zeitalter hinaus wirkenden Bedeutung. Die ganze Periode wird in die großen, geschichtlichen Zusammenhänge des alten Orients hineingestellt.

Christus. Von Prof. Dr. O. Holzmann in Gießen. 8°. IV u. 147 S.

Jesus Heimat und Volk, sein Leben und sein Evangelium werden behandelt, die Quellen auf ihre Glaubwürdigkeit geprüft, die Glaubensstatistiken besprochen, und die Glaubensurteile der verschiedenen Zeiten dargestellt.

Mohammed und die Seinen. Von Prof. Dr. H. Reckendorf in Freiburg i. B. 8°. IV u. 134 S.

In großen Zügen zieht Mohammeds Leben an uns vorüber und zeigt uns sein Wirken als Religionsstifter, Heerführer und Staatsmann.

Politik. Von Prof. Dr. J. Stier-Somlo in Bonn. 8°. VI u. 166 S.

Eine für jede politische Bildung unentbehrliche Staatslehre: Wesen und Zweck, Rechtfertigung und typischer Wandlungsprozeß des Staates, seine natürlichen und sittlichen Grundlagen usw. werden geprüft und gewertet. Monarchie und Volksvertretung, Parteienwesen und Imperialismus, kurz alle unsere Zeit bewegenden politischen Ideen kommen zur Sprache.

Eiszeit und Urgeschichte des Menschen. Von Prof. Dr. J. Pöhlig in Bonn. 8°. IV u. 142 S. mit zahlr. Abbildungen.

Gibt auf Grund der neuesten, streng wissenschaftlichen Forschungen ein Bild von den landschaftlichen Wirkungen des Eises, der Bildung der flugfähler und Höhlen, dem Leben des Urmenschen, seiner tierischen und pflanzlichen Begleiter.

Schmarogertum im Tierreich und seine Bedeutung für die Artbildung. Von Hofrat Prof. Dr. L. v. Graff in Graz. 8°. IV u. 132 S. mit zahlreichen Abbildungen.

Zum ersten Male wird hier von einem unserer ersten Zoologen die wichtige Rolle eingehend dargestellt, die dem Parasitismus für die Entstehung der Arten zukommt. Sorgfältig ausgewählte, reich illustrierte Beispiele geben die Grundlagen für die allgemeinen Erörterungen unter besonderer Berücksichtigung der Parasiten des Menschen.

Die Bakterien und ihre Bedeutung im praktischen Leben. Von Privatdozent Dr. H. Miesche in Leipzig. 8°. ca. 140 S. mit zahlreichen Abbildungen.

Ihre Formen, Lebens- und Ernährungsweise werden eingehend behandelt und in ihrer Bedeutung für den Menschen betrachtet, sowohl als Helfer in der Natur und in der Industrie, wie als Feinde durch Verderben der Nahrungsmittel, Krankheiten, Erreger usw. Ein Schlusskapitel zeigt die Mittel ihrer Bekämpfung.

Befruchtung und Vererbung im Pflanzenreich. Von Professor Dr. K. Giesenhagen in München. 8°. IV u. 132 S. mit zahlreichen Abbildungen.

Die einzelnen Abschnitte behandeln die Erhaltung der Art durch ungeschlechtliche Fortpflanzung; die Ausgestaltung der geschlechtlichen Fortpflanzung bei den blütenlosen Pflanzen; die Befruchtung der Blütenpflanzen; Selbstbefruchtung, Geschlechtsverlust und Jungferzeugung im Pflanzenreich; die wichtigsten Vererbungsgesetze und ihre Erklärung.

Die Elektrizität als Licht- und Kraftquelle. Von Privatdozent Dr. P. Eversheim in Bonn. 8°. ca. 144 S. m. zahlr. Abbild.

Die wichtigsten elektrischen Vorgänge werden erläutert und begründet und jene Fragen beantwortet, die sich beim Anblick der tausenderlei „elektrischen Dinge“ stellen, denen wir fast täglich begegnen.

Wissenschaft und Bildung
Einzeldarstellungen aus allen Gebieten des Wissens
Herausgegeben von Dr. Paul Herre



Befruchtung und Vererbung im Pflanzenreiche

Mit 31 Abbildungen

Von

Prof. Dr. Giesenhagen
in München



1907

Verlag von Quelle & Meyer in Leipzig

QK827

G5

BIOLOGY
LIBRARY
G

Vorwort.

Die nachstehend wiedergegebenen Anschauungen über Befruchtung und Vererbung im Pflanzenreich sind zuerst als Vorträge im Münchener Volkshochschulverein vor einem größeren Zuhörerfreise entwickelt worden. Der Vorwurf, daß hier als Theorie behandelt ist, was nur als wissenschaftliche Hypothese gelten darf, wird mir wohl nicht erspart bleiben. Aber wieviel Probleme der biologischen Wissenschaften gibt es schließlich, über welche die Anschauungen so weit geklärt und gesichert sind, daß eine nach Abrundung strebende populäre Darstellung sich lediglich auf dem Boden gesicherter Tatsachen bewegen kann? Und welchen Nutzen könnte es haben, wenn die vorsichtig tastende Unsicherheit, die der induktiven Forschung bei dem Vordringen in neue Gebiete eigen ist, auf die für den Laien bestimmte Darstellung eines Problemkomplexes übertragen würde? Mir erschien es gerade im Hinblick auf das wachsende Interesse, welches weite Kreise den Fortschritten der Naturwissenschaften entgegenbringen, als eine dankbare Aufgabe, einmal die Grundgedanken unserer heutigen Vererbungslehre konsequent für alle Stufen der Entwicklungsreihe durchzuführen. Ich glaube dabei nicht versäumt zu haben, auf die Unsicherheit unserer Erkenntnis am rechten Orte hinzuweisen.

Durch das Entgegenkommen der Verlagsbuchhandlung war ich in die günstige Lage versetzt, die geschilderten Vorgänge und Formverhältnisse durch reichliche Abbildungen erläutern zu können. Auch in jeder anderen Beziehung bin ich dem Verlage für die gediegene Ausstattung des Büchleins zu großem Danke verpflichtet.

München, im Mai 1907.

H. Giesenhagen.

Inhalt.

	Seite
Kapitel I: Die ungeschlechtliche Fortpflanzung und die Übertragung erblicher Eigenschaften durch vegetative Zellen	1
Kapitel II: Der Befruchtungsvorgang bei Grünalgen	23
Kapitel III: Der Befruchtungsvorgang bei Moosen und Farnen mit einerlei Sporen	46
Kapitel IV: Der Befruchtungsvorgang bei Farnpflanzen mit zweierlei Sporen und bei den Gymnospermen	66
Kapitel V: Der Befruchtungsvorgang bei den Angiospermen und das Verhalten der erblich übertragbaren Merkmale .	87
Kapitel VI: Geschlechtsverlust, Jungfernzzeugung, vegetative Embryonen. Bedeutung der Vererbung für die Entstehung neuer Formen	109
Literatur	129



Kapitel I.

Die ungeschlechtliche Fortpflanzung und die Übertragung erblicher Eigenschaften durch vegetative Zellen.

Wir sind gewohnt, die Naturkörper, die uns umgeben, in drei Naturreiche, das Steinreich, das Pflanzenreich und das Tierreich einzuordnen. Diese Einteilung ist uralte. Schon der griechische Philosoph Aristoteles, der mehr als drei Jahrhunderte vor Anfang unserer Zeitrechnung in Griechenland lebte und lehrte, hat mit klaren Worten die Eigentümlichkeiten, die Unterschiede dieser drei Reiche ausgesprochen und damit eine Norm geschaffen, die für die Gelehrten bis weit in das Mittelalter hinein eine unerrückbare Richtschnur bildete. Auch der große schwedische Botaniker Karl von Linné, der im Anfange des achtzehnten Jahrhunderts die beschreibenden Naturwissenschaften in neue Bahnen lenkte, hat diese Einteilung der Natur in drei Reiche zur Grundlage für die Einteilung der Naturgegenstände gemacht. Mit der ihm eigenen wunderbaren Gabe, alle Dinge mit klaren, knappen Ausdrücken zu beschreiben und in ein geordnetes System zu bringen, fasste er die ihm wesentlich erscheinenden Unterschiede zwischen den drei Naturreichen in folgende Sätze zusammen: Die Steine wachsen, die Pflanzen wachsen und leben, die Tiere wachsen, leben und empfinden.

Gegenüber der tieferen Einsicht in die Natur der Dinge, die uns das gewaltige Aufblühen der Naturwissenschaften im neunzehnten Jahrhundert gebracht hat, können die Sätze Linnés nicht in vollem Umfange unverändert bestehen bleiben. Freilich, die Kluft, welche das Steinreich einerseits von dem Pflanzen- und Tierreich andererseits trennt, ist noch immer dieselbe geblieben und die Grenze, welche Linné zwischen ihnen gezogen hat, besteht auch heute noch zu Recht. Mag es auch den Bemühungen der Chemiker gelungen sein, eine ganze Anzahl von Stoffen, welche uns die Natur nur im Stoffwechsel der Pflanzen

und Tiere darbietet, auf künstlichem Wege aus unorganischen, dem Steinreich angehörigen Materien aufzubauen; ein Lebendes aus Leblosem hervorgehen zu lassen, das hat bis heute noch niemand zustande gebracht. Andererseits aber ist die Grenze, die Linne zwischen Pflanzen und Tieren gezogen hat, mit der fortschreitenden, naturwissenschaftlichen Erkenntnis immer undeutlicher und unzuverlässiger geworden. Wir kennen eine große Zahl von Lebewesen, die mit gleichem Recht dem Pflanzenreiche wie dem Tierreiche zugeteilt werden können, und das Empfindungsvermögen, das Linne den Tieren als einen Vorzug vor den Pflanzen zugesprochen hat, ist heute als eine charakteristische Eigentümlichkeit aller Lebewesen zu bezeichnen. Man hat mit einer gewissen Berechtigung in neuerer Zeit selbst von Sinnesorganen der Pflanzen gesprochen, die ähnlich wie die Sinnesorgane der Tiere den Gewächsen die Wahrnehmung äußerer Reize vermitteln.

So ist man dazu gekommen, Pflanzen und Tiere gemeinsam als das Reich des Organischen dem Steinreich, dem Reiche des Unorganischen gegenüberzustellen, und in den Pflanzen und Tieren die Vertreter zweier Entwicklungsreihen zu sehen, die von gemeinschaftlichen Anfängen ausstrahlend nach verschiedenen Richtungen sich ausgebildet haben. Wenn wir von den niedersten Lebewesen absehen, wenn wir unsere Betrachtung beschränken auf die höheren Pflanzen und Tiere, — auf die Kräuter, Sträucher und Bäume einerseits, die Insekten, Spinnen, Muscheln, Schnecken, Fische, Frösche, Reptilien, Vögel und Säugetiere andererseits, an die der Laie zunächst denkt, wenn von Pflanzen und Tieren die Rede ist — so können wir allerdings manche scharfen Unterschiede zwischen den Gliedern der beiden Reihen feststellen, und unter dieser Beschränkung wird im einzelnen Falle auch ein Kind kaum darüber im Zweifel sein, was ein Tier, was eine Pflanze ist.

Ich will hier auf einen wesentlichen Unterschied zwischen den höheren Pflanzen und Tieren hinweisen, der zu der Erhaltung des Lebens und zu der Fortpflanzung in einer besonderen Beziehung steht. Bei den höheren Tieren erreicht das einzelne Lebewesen in seinem Entwicklungsgange früher oder später einen Zustand des Ausgewachsenseins. Wir finden in diesem Stadium alle Organe in der für die Art charakteristischen Zahl und Größe entwickelt, eine Neubildung weiterer Körper-

teile findet nicht mehr statt. Das Wachstum ist abgeschlossen, die Lebensfunktionen beschränken sich auf die Erhaltung des Körperbestandes, bis endlich der alternde Organismus aus innern Ursachen einem natürlichen Tode verfällt. So erscheint uns der Tod des einzelnen Tieres als der natürliche Abschluß des Entwicklungsganges, der mit dem Stadium des Ausgewachsenseins seinen Höhepunkt erreicht hat. Bei den Pflanzen existiert ein solches Stadium des Ausgewachsenseins nicht. Die Pflanze trägt jederzeit an ihrem Körper Entwicklungsherde, sogenannte Vegetationspunkte, aus denen neue Körperteile hervorgehen können, wenn nur die äußeren Umstände ihrer Weiterentwicklung günstig sind.

Öffnen wir den reifen Samen einer Pflanze, so finden wir im Innern der Samenschale einen Keimling vor, den Anfang eines jungen Pflänzchens, der fast ganz aus einem zu Wachstum und Neubildung befähigten Gewebe besteht. Lassen wir diesen Keimling im Samen in normaler Weise zur Keimung kommen, so zeigt sich, daß an seinem Körper an zwei Stellen bevorzugte Entwicklungsherde vorhanden sind, aus denen die Neubildung von Organen erfolgt, an der Spitze des Sprosses und an der Spitze der Wurzel. Diese beiden Vegetationspunkte bewirken zunächst, daß Sproß und Wurzel sich verlängern und aus der gesprengten Samenschale hervortreten. Die fortwachsende Wurzelspitze wendet sich abwärts und dringt in den Boden ein, der durch die Tätigkeit seines Vegetationspunktes sich verlängernde Sproß richtet sich auf und strebt dem Licht entgegen. An dem die Spitze des Sprosses einnehmenden Vegetationspunkt treten zunächst als kleine, dem bloßen Auge unsichtbare Höckerchen die Blätter auf, die durch weiteres Wachstum ihre endgültige Gestalt erreichen. Oberhalb der Stelle aber, wo ein solches Blatt sich an die Sproßachse ansetzt, hat der sich immer wieder ergänzende Sproßvegetationspunkt einen kleinen Teil seines Gewebes unverändert zurückgelassen, welcher die gleiche Fähigkeit zu fortdauernder Entwicklung besitzt. Aus ihm geht in der Achsel jedes Blattes die Anlage eines Seitensprosses hervor, deren Vegetationspunkt in gleicher Weise wie derjenige des Hauptsprosses neue Blätter und neue Seitensproßanlagen erzeugen kann. So wächst und mehrt sich am Pflanzensproß ununterbrochen die Zahl der Vegetationspunkte, der Bildungsherde, die zur Hervorbringung neuer Organe befähigt sind. Ganz ähnlich

verläuft auch der Entwicklungsgang der Wurzel. Auch an ihr treten als Abkömmlinge des Vegetationspunktes der Keimwurzel seitliche Vegetationspunkte auf, aus denen Seitenwurzeln erwachsen, die wiederum die Anlagen zu Seitenwurzeln höherer Ordnung hervorbringen.

Während die innere Organisation des Tierkörpers zu einem Abschluß des Bildungsganges drängt, während in ihm mit Erreichung des Ausgewachsenseins das Entwicklungsvermögen erlischt, steigert sich das Entwicklungsvermögen des Pflanzenkörpers bei fortschreitendem Wachstum, in dem immer neue Bildungsherde auftreten, deren Zahl endlich ins ungemessene steigt. So finden wir in der innern Organisation des Pflanzenkörpers im allgemeinen auch keine direkten Ursachen für einen endlichen Abschluß des Entwicklungsganges und für den natürlichen Tod des einzelnen Lebewesens.

In der That gibt es eine nicht geringe Zahl von Pflanzenindividuen, die uns beweisen, daß ihre Lebensfähigkeit weit über ein Menschenalter hinaus, selbst durch Jahrhunderte und Jahrtausende erhalten bleiben kann. An der Apis des Domes zu Hildesheim wächst ein Rosenstrauch, der alljährlich die Mauern des ehrwürdigen Gebäudes im Sommer mit blagroten Blüten und im Herbst mit roten Hagebutten schmückt. Nach der Sage soll der Rosenstock von Ludwig dem Frommen gepflanzt und demnach sein Alter ein tausendjähriges sein. Wenn auch diese Angabe vor der exakten Prüfung des Forschers nicht von Bestand bleibt, so ist doch durch genaue historische und naturwissenschaftliche Untersuchungen festgestellt, daß der unterirdische Stock des Strauches, aus dem die Wurzeln und die belaubten, blümentragenden Triebe an der Mauer des Domes ihren Ursprung nehmen, ein wenigstens dreihundertjähriges Alter besitzt. Mehrhundertjährige Einden und Eichen sind in Deutschland nicht gerade selten, und manche von ihnen gelten weit und breit als Wahrzeichen deutschen Volkstums, um die Märcen und Sagen ihre goldenen Fäden spinnen. Weit berühmt ist z. B. die Linde bei Neuenstadt in Württemberg, die schon im dreizehnten Jahrhundert als der große Baum an der Heerstraße erwähnt wird. Zu Dandorf bei Bayreuth steht ein Eindenbaum, dessen Alter man auf 1250 Jahre schätzt. Die sieben Eichen im Schlossgarten zu Jrenack in Mecklenburg mögen nicht viel jünger sein. Auch unter den Nadelhölzern gibt es uralte Riesen. Die Eibe,

die sich hier und da in prächtigen Exemplaren in unseren Wäldern findet, soll ein dreitausendjähriges Alter erreichen. Der Forstmann Raseburg schildert in seinen Reisen die Königsfichte im Nesselgrunder Forstrevier Schlesiens, die im Jahre 1840 eine Höhe von fast 50 Metern hatte; sie erschien ihm als „der größte und erhabenste Zeuge der noch in ganz Deutschland vorhandenen Denkmäler der Produktionskraft der Gebirgswälder“. Ihr Alter muß wohl zurückreichen bis in die Zeiten der Hohenstaufen. Und sie zählt noch nicht zu den Größten ihres Geschlechts; man hat Fichten gemessen mit 60 Meter Höhe, deren Lebensalter man auf 1200 Jahre berechnete. In den ausgedehnten Waldungen des Bayerischen Waldes und anderer deutscher Mittelgebirge schont der Forstmann hier und da einen solchen Riesestamm, dessen Umfang und Gipfelhöhe dem Gebirgswanderer Staunen und Bewunderung abnötigt. Schauen wir über unser Vaterland hinaus in Länder, deren Klima den Pflanzenwuchs in besonderer Weise begünstigt, so finden wir leicht noch staunenswertere Zeugen von der schier unerlöschlichen Lebenskraft der einzelnen Pflanze. Auf der Insel Teneriffa im Atlantischen Ozean wächst eine Art des Drachenbaumes, die in riesenhaften Exemplaren angetroffen wird. Der größte unter ihnen, von dem die Kunde nach Europa gelangt ist, stand in einem Garten bei der Stadt Orotava. Sein Stammumfang betrug in Brusthöhe 14 Meter. Aus dem geringen Zuwachs in die Dicke, den der Baum im Laufe des Jahres erfährt, schätzte man sein Alter auf mehrere Tausend Jahre. 1868 fiel der Riese einem Sturm zum Opfer, aber auch unter den noch jetzt lebenden Artgenossen finden sich einige, deren Umfang auf ein hohes Alter schließen läßt. Als Beispiel höchsten Alters wird gewöhnlich der Affenbrotbaum oder Baobab in Westafrika genannt. Der Botaniker Adanson, welcher in der Mitte des 18ten Jahrhunderts Senegambien bereiste, sah dort Bäume dieser Art, welche bis gegen 30 Meter Stammumfang besaßen und mit ihrer zwar niedrigen, aber weitausladenden Krone einen Raum von 40 bis 50 Meter überschatteten. Ihr Alter soll sich auf 5 bis 6000 Jahre berechnen. Baumarten von riesenhaftem Wuchs bietet der tropische Urwald in Menge. Bei der Schnellwüchsigkeit des Holzes in dem feuchtwarmen Klima kann aber ihr Alter nicht immer allzu hoch angeschlagen werden. Dagegen läßt die enorme Höhe der Wellingtonien

oder Mammutbäume in dem gemäßigten Klima des Gebirges von Kalifornien wohl auf ein hohes Lebensalter schließen. Sie wurden im Jahre 1850 von dem englischen Reisenden Lobb entdeckt und ihre Beschreibung erregte das Erstaunen der ganzen zivilisierten Welt. Lobb zählte in einem Haine bei etwa 1500 Meter Meereshöhe gegen 90 Exemplare, deren Durchschnittshöhe etwa der Höhe der Frauentürme in München gleichkommt. Einzelne besonders ausgezeichnete Exemplare waren von den Ansiedlern in jener Gegend mit besonderen Namen als Vater und Mutter des Waldes usw. ausgezeichnet worden. Der Vater des Waldes ist seit längerer Zeit umgestürzt. Er war 144 Meter hoch und sein Umfang maß am Grunde 35 Meter. Sein Alter wurde von einigen Untersuchern auf 6000 Jahre geschätzt. Das dürfte indessen wohl zu hoch gegriffen sein, wenn auch immerhin zugegeben werden muß, daß sein Lebensalter sich nach Jahrtausenden bemißt. An Wuchshöhe werden die Mammutbäume nur noch von den gigantischen Fieberbäumen in Südostaustralien übertroffen, deren größte Höhe bis auf 155 Meter angegeben wird und deren Lebensalter wir demnach auch als ein sehr hohes veranschlagen dürfen.

Daß schließlich auch den Bäumen, die ihr Alter auf eine so hohe Stufe zu bringen vermögen, der Todessturz droht, daß die Bäume, wie es im Sprichwort heißt, nicht in den Himmel wachsen, dafür sorgen äußere Gewalten, Stürme, Blitzschläge und Erdbeben oder nagende Schädlinge, die von innen heraus die Festigkeit des Holzgerüsts des Stammes und der Äste zerstören, oder der Mensch, der oft auch den altehrwürdigsten Baum nicht schont, wenn er als ein Hindernis erscheint für seine eigensüchtigen Pläne. In der inneren Organisation des Baumes aber finden wir keinen Grund für das Absterben. Auch im höchsten Alter eines Baumriesen sind seine Entwicklungsherde, die Vegetationspunkte, in gleicher Weise wie am jungen Sproß geeignet, aus sich heraus neue Sprosse zu erzeugen mit Blättern und Vegetationspunkten und mit der Befähigung, neue Seitensprosse und Adventiwurzeln zu bilden, wenn nur dafür die äußeren Umstände günstig sind.

Im Zusammenhange mit dem Vorhandensein von zahlreichen und fortgesetzt sich mehrenden Entwicklungsherden am wachsenden Pflanzenkörper, steht eine weitere Eigentümlichkeit, die die Pflanze sehr wesentlich vom Tier unterscheidet, nämlich

die wunderbare Unempfindlichkeit gegen Verstümmelungen. Wenn wir einen Baum beschneiden, braucht dadurch seine Lebenskraft nicht im geringsten geschwächt zu werden, er wird im Gegentheil oft zu üppigerer Entwicklung angeregt. Die erhalten gebliebenen Vegetationspunkte sind durch das Beschneiden von der Konkurrenz der abgeschnittenen befreit, sie können die in Stamm und Wurzel aufgespeicherten Nährstoffe für sich allein verwenden und wachsen um so schneller und kräftiger zu neuen Gliedern aus. Ja selbst an den abgeschnittenen Zweigen erlischt die Lebenskraft durch die Trennung von dem Muttersproß nicht. Bringen wir einen solchen Zweig in günstige äußere Bedingungen, so können seine Vegetationspunkte zur Entwicklung schreiten. Reichen die organischen Nährstoffe in dem abgeschnittenen Zweigstück aus, um eine neue Beblätterung und neue Wurzeln aufzubauen, so kann auch der abgeschnittene Zweig dauernd weiter vegetieren und für sich den Anfang einer neuen Pflanze bilden, die gleiche Ausbildung und gleiche Lebensdauer erreicht wie der Muttersproß. Wenn es in der Praxis auch wegen äußerer Schwierigkeiten nicht immer gelingt, in der Theorie können wir jeden der zahllosen Vegetationspunkte eines Baumes für sich allein zum Ausgangspunkt und Anfangsstadium eines neuen Baumes werden lassen. Es ist bekannt, daß die Gärtner von der Entwicklungsfähigkeit abgetrennter Stücke einer Pflanze einen ausgedehnten Gebrauch machen, um Zierpflanzen oder andere Kulturgewächse zu vermehren. Stecklinge sind nichts anderes als abgeschnittene Zweigstücke, deren Vegetationspunkte zum Austreiben gebracht werden.

Ein gutes Beispiel dafür, daß auch in der freien Natur eine Vermehrung durch abgelöste Sproßstücke erfolgen kann, bietet uns die kanadische Wasserpest, *Elodea canadensis*, eine im Wasser untergetaucht lebende Pflanze, die aus Nordamerika erst in den vierziger Jahren des vorigen Jahrhunderts bei uns eingewandert ist. Man hat an ihr bisher in Europa niemals Früchte und Samen gefunden. Trotzdem verbreitete sich die Pflanze, die mit Vorliebe stehende oder langsam fließende Gewässer bewohnt, nach ihrer Einwanderung zunächst in England mit unglaublicher Geschwindigkeit. Sie trat auch bald auf den Kontinent über und fand dort in wenigen Jahren weiteste Verbreitung und üppigste Vermehrung an allen von ihr eroberten Standorten. Bis zum Jahre 1860 war sie bereits bei Hamburg,

Stettin, Potsdam, Leipzig, Breslau eingebürgert. Ihre Menge war an einzelnen Standorten so groß, daß die Schifffahrt, besonders die Handhabung der Schleusen durch sie erschwert wurde. Die Lebensfähigkeit der Pflanze ist so groß, daß jeder abgebrochene Seitenzweig, ja jedes Stück des sehr brüchigen Sprosses, wenn es nur einen einzigen Knoten mit den daran vorhandenen Vegetationspunkten enthält, zu einer neuen Pflanze werden kann. Jeder Versuch, die Pflanze an einem Standort durch Herausnehmen der vorhandenen Stöcke zu vertilgen, war geradezu ein Mittel, den Zerfall der Sprosse in Stecklinge herbeizuführen, die mit der Strömung abwärts wandern, durch Boote und Schiffe stromaufwärts getragen und von Wasservögeln über Land zu andern Wässern fortgeschleppt werden konnten. Die Befürchtung, daß die Pflanze in ihrer strotzenden Lebenskraft und ihrer erstaunlichen Vermehrungsfähigkeit schließlich alle Gewässer besiedeln und jede andere Vegetation verdrängen könnte, hat sich trotzdem nicht bestätigt. Sie hat sich seither an den eroberten Plätzen in ihrem Bestande erhalten oder sie ist auch wohl gar hier und da, nachdem durch ihre üppige Vegetation der Boden von ihr ausgenutzt worden war, in ihrer Üppigkeit zurückgegangen.

Das Beispiel der Elodea, deren Verbreitungsgeschichte wie ein vom Zufall angestelltes Experiment zum Nachweis der Wirksamkeit der vegetativen Vermehrung durch Stecklinge, anmutet, ist aber nicht etwa ein seltener Ausnahmefall der natürlichen Stecklingbildung. Wir finden einen ähnlichen Vorgang bei vielen einheimischen und ausländischen Pflanzen. Einzelne Zweige, die häufig durch die Unordnung und Gestalt ihrer Blätter oder durch andere Einrichtungen für eine Weiterverbreitung besonders ausgerüstet sind, lösen sich selbsttätig oder infolge eines äußeren Anstoßes von dem Mutterstod ab und lassen aus sich eine neue Pflanze hervorgehen. Bei der Erdbeere, bei den kriechenden Fingerkraut, dem kriechenden Hahnenfuß und zahllosen anderen Vertretern unserer einheimischen Flora entspringen aus dem Hauptsproß langgliedrige Seitentriebe, sogenannte Ausläufer, die sich nicht aufwärts wenden und auch nicht wie der Hauptsproß große Laubblätter in dichter Rosette tragen. Sie kriechen vielmehr horizontal am Boden hin und durch lange Zwischenglieder getrennt stehen an ihnen vereinzelt die kleinen schuppenförmigen Blätter, die in ihrer Achsel einen

von dem Hauptvegetationspunkt des Ausläufers abzuleitenden seitlichen Vegetationspunkt bergen. Aus diesen Vegetationspunkten entwickeln sich kleine Pflänzchen, die sich in Berührung mit dem Erdboden leicht bewurzeln und selbständig werden, indem die Verbindung mit der Mutterpflanze durch den Zerfall des Zwischengliedes aufgehoben wird. Auch die Kartoffelpflanze hat ähnliche Ausläufer. Dieselben entspringen an einem unterirdischen Abschnitt des Sprosses und dringen horizontal im Erdreich vor. Ihre Spitze schwillt endlich zu einer nährstoffreichen Knolle an, die in grubigen Vertiefungen, deren unterer, etwas zugespitzter Rand den letzten Rest der verkümmerten Blätter darstellt, entwicklungsfähige Vegetationspunkte, Augen, trägt. Die Entwicklung der Augen erfolgt aber nicht sogleich, sondern erst nach Ablauf einer Ruhepause. Die Knollen stellen hier also zugleich Überwinterungsorgane dar, welche die Erhaltung der Art über eine das Leben der Mutterpflanze vernichtende Periode ungünstiger klimatischer Verhältnisse hinaus sichern, indem sie in der neuen Vegetationsperiode zahlreiche Nachkommen aus sich hervorgehen lassen. In ähnlicher Weise bilden manche einheimische Wasserpflanzen im Herbst die Spitze ihrer Hauptachse oder der Seitentriebe zu knospenartigen Überwinterungsorganen oder Hibernakeln um, die sich von der Pflanze lösen und in den Schlamm am Boden des Gewässers hinabsinken, wo sie gegen Kälte und andere Gefahren geschützt den Winter überdauern, um im Frühling wieder an die Wasseroberfläche emporzusteigen und den Ausgangspunkt für die Nachkommenschaft der inzwischen durch die Ungunst der Verhältnisse zerstörten Mutterpflanze zu bilden. Bei manchen Gewächsen werden sogenannte Ableger gebildet, Seitensprosse, die sich leicht vom Stoc lösen und entfernt von der Mutterpflanze ein selbständiges Leben beginnen. Wir finden solche Ableger häufig an kultivierten Kaktuspflanzen als kugelige Warzen, die sich mit widerhakigen Borsten und Stacheln an unseren Kleidern oder selbst an den Händen festhängen, wenn wir die Pflanzen berühren. Bei anderen Gewächsen nehmen solche für die Ablösung bestimmte Seitensprosse bisweilen die Form von zwiebelähnlichen Kurztrieben an, wie die Brutzwiebeln in den Blattachseln der Feuerlilie, oder sie sind als unterirdische fleischige Knöllchen entwickelt, wie die Brutknöllchen des Körnersteinbrech und der Feigwurz.

Alle diese Vermehrungsorgane schließen normale Vegetationspunkte ein, die in der früher geschilderten Weise aus einem Vegetationspunkt der Mutterpflanze hervorgegangen sind und durch ihre Stellung in den Blattachseln als normale Bildungen charakterisiert sind. Daneben können bei gewissen Pflanzen noch neue Vegetationspunkte an ungewöhnlichen Stellen auftreten, sogenannte Adventivknospen, die gleichfalls für die Entstehung einer Nachkommenschaft in Betracht kommen. Der Altmeister Goethe beschäftigte sich bei seinen naturwissenschaftlichen Studien vielfach mit einer von ihm gepflegten, aus dem tropischen Asien stammenden Pflanze mit fleischigen Blättern, *Bryophyllum calycinum*. Die Eigentümlichkeit dieses Gewächses, das auch in neuester Zeit Gegenstand biologischer Versuche gewesen ist, besteht darin, daß die Blätter die sonst den Blättern mangelnde Fähigkeit besitzen, in den Kerben ihres Randes neue Vegetationspunkte entstehen zu lassen, aus denen junge Pflanzen hervorgehen können. Die leicht sich ablösenden Blätter können dadurch der Vermehrung in hervorragendem Maße dienen.

„Wie aus einem Blatt unzählig
frische Lebenskeime sprießen,
Mögt in einer Liebe selig
Tausendfaches Glück genießen.“

schrrieb Goethe an Marianne von Willemer, der er einige Blätter mit lebenden Brutpflänzchen zusandte. Noch erstaunlicher ist fast die unerschöpfliche Lebenskraft des Schiefblattes, *Begonia*, dessen Blätter, wenn sie vom Mutterstamm abgetrennt werden, überall, besonders aber an Stellen, an denen die Leitungsbahnen verletzt wurden, neue Adventivknospen erzeugen können. Neben diesen beiden Beispielen ausländischer Gewächse kann auch eine einheimische Pflanze mit blattbürtigen Adventivsprossen genannt werden. Vielfach wächst in der weiteren Umgebung von München eine Abart des gewöhnlichen Wiesen-schaumkrautes, die nur gefüllte und zur normalen Erzeugung von keimfähigen Samen ungeeignete Blüten trägt. Die Erhaltung dieser kurzlebigen samenlosen Varietät beruht einzig darauf, daß abfallende Blätter Adventivknospen tragen, aus denen neue Pflänzchen hervorgehen, die wie die Mutterpflanze gefüllte Blüten tragen.

Die Tatsache, daß die aus den Stecklingen, den Ablegern, Brutzwiebeln, Brutknospen und blattständigen Adventivknospen

hervorgehenden jungen Pflanzen in ihrem Entwicklungsgange denselben Weg einschlagen, den die Mutterpflanze durchlaufen hat, und daß die dabei erreichte Formgestaltung ihrer Glieder derjenigen der Mutterpflanze in allen Beziehungen ähnlich ist, bezeichnen wir als Vererbung. Wir sagen, die Eigenschaften der Mutterpflanze werden erblich auf die Nachkommen übertragen und der Schwerpunkt des Problems der Erbllichkeit beruht darin, zu zeigen, auf welchem Wege die Wiedererflehung der mütterlichen Eigenschaften in der Tochterpflanze erfolgt. Von wesentlicher Bedeutung für das Verständnis dieses Vorganges ist der Umstand, daß in allen bisher betrachteten Fällen ein Teil der Mutterpflanze den Anfang der Tochterpflanze bildet, und zwar ein Teil, der wenigstens einen der Bildungs-herde oder Vegetationspunkte der Mutterpflanze in sich einschließt. Dieser Vegetationspunkt aber ist ein direkter Abkömmling jenes Vegetationspunktes, aus dem der Sproß der Mutterpflanze hervorgegangen ist; er besitzt demnach dieselbe äußere Form und innere Organisation und dieselben Entwicklungsmöglichkeiten wie jener. Es wird uns unter diesen Umständen nicht besonders wunderbar erscheinen, wenn das aus diesem hervorgehende Pflanzengebilde dem ähnlich erscheint, das jener aus sich erzeugt hat — wenigstens nicht wunderbarer als die Tatsache, daß auch die Zweige eines Baumes unter sich ähnliche Gestalt der Sproßbildung und Beblätterung aufweisen.

Der Teil ihres eigenen Körpers, den die Mutterpflanze als den Anfang der Tochter abgibt, den wir als den stofflichen Träger der erblichen Eigenschaften kennen gelernt haben, zeigt in allen erwähnten Beispielen eine weitgehende Gliederung, die den Bauplan der Stammpflanze in seinen Grundzügen erkennen läßt. Ein Sproßabschnitt ist vorhanden, der die Befähigung mitbringt, sich zu bewurzeln und der an seiner Spitze einen Vegetationspunkt trägt, es ist bereits eine Anzahl von Blättern angelegt oder wohl gar schon mehr oder minder weit entwickelt. Wenden wir uns zur Betrachtung niederer Gewächse, so finden wir dort bei der vegetativen Vermehrung das Erbgut, welches die Eigenschaften der Mutterpflanze auf die Nachkommen zu übertragen hat, häufig äußerlich viel weniger differenziert und die Befähigung zur Hervorbringung neuer Glieder nicht so fest an bestimmte vorgebildete Teile des Vermehrungsorganes gebunden als bei den Blütenpflanzen.

Unter den durch ihre Kleinheit der Aufmerksamkeit des Nichtbotanikers ziemlich ferngerückten Lebermoosen bildet bei uns die Marchantie (*Marchantia polymorpha*) eine der stattlichsten Erscheinungen. Wir finden das Moos in Gestalt von flachen, etwa zentimeterbreiten, mehrfach gegabelten, grünen Bändern an feuchten Mauern oder an Grabenrändern oft handgroße und größere Überzüge bildend, aus denen sich gewöhnlich als auffälligstes Erkennungsmerkmal kleine hutpilzförmige Äste mit grüner, am Rande zierlich gelappter Scheibe erheben. Die breiten Bandflächen des Mooses, die an ihrer Bauchseite mit

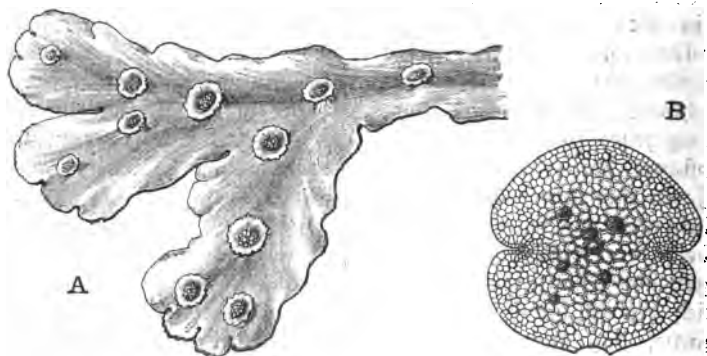


Abb. 1. A Ein Teil von dem gegabelten bandförmigen Vegetationskörper des Lebermooses *Marchantia*, welcher Nüsschen mit Brutförperchen trägt (doppelte Naturgröße). B Ein einzelnes Brutförperchen stärker vergrößert.

Haarwurzeln an ihre Unterlage befestigt sind, tragen hier und da auf ihrem Rücken zierliche grüne Nüsschen, in denen äußerst feine, dem bloßen Auge eben noch als zarte Pünktchen erkennbare grüne Scheibchen an kurzen Stielen stehen. Die Scheibchen sind Brutförperchen und bilden also ein Mittel zur vegetativen Vermehrung der Pflanze. Die Brutförperchen lösen sich, wenn sie ausgewachsen sind, leicht von ihren Stielen und werden durch den Regen aus den Brutbecherchen herausgeschwemmt. Gelangen sie an günstiger Stelle auf den Erdboden, so wachsen aus ihnen neue Moospflanzen heran. An zwei einander gegenüber liegenden Stellen des Randes der Scheibchen sind feichte Einkerbungen vorhanden; aus ihnen gehen die neuen Vegetationspunkte hervor. Welche

Seite des Scheibchens dabei zur brutbechertragenden Rückseite und welche zur bewurzelten Bauchseite wird, das ist nicht im Voraus bestimmt, sondern es hängt allein von der Lage ab, die das Scheibchen bei der Ausaat zufällig erlangt. Es steht also hier die organische Ausbildung der Erbmasse auf einer verhältnismäßig niedrigeren Stufe. Immerhin aber können wir in den Kerben des Randes der Brutkörper noch die bereits in Verbindung mit der Mutterpflanze angelegte Vegetationspunkte erblicken, die den gleichen Entwicklungsgang einhalten, wie die Vegetationspunkte der Mutterpflanze. In den einfachsten Fällen

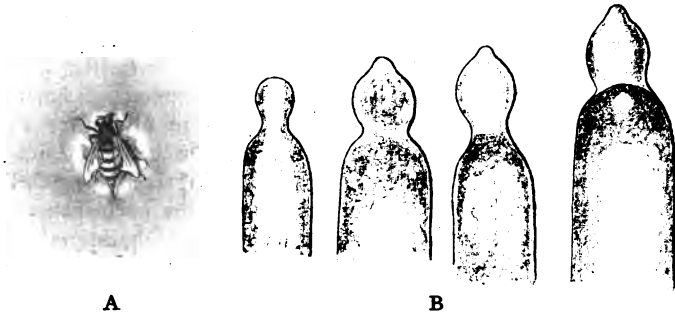


Abb. 2. *Empusa muscae*.

A Eine vom Pilz getötete Stubenfliege von einem Hof abgeschleuderter Sporen umgeben. B Verschiedene Entwicklungsstadien der Sporen an den aus dem fliegenleibe hervortretenden Pilzfäden (stark vergrößert).

geht aber bei den blütenlosen Pflanzen die vegetative Vermehrung, die Erzeugung einer Nachkommenschaft von mikroskopisch kleinen, äußerlich völlig ungegliederten Brutkörnchen, Sporen oder Konidien aus, bei denen von einem vorgebildeten Vegetationspunkt nicht mehr gesprochen werden kann. Ich will aus vielen Tausenden von Beispielen einige wenige auswählen, die an allgemein bekannte Erscheinungen anzuknüpfen sind.

Im Herbst pflügen alljährlich unsere Stubenfliegen von einer eigentümlichen Krankheit befallen zu werden, die sich darin auffällig äußert, daß die Tiere sich irgendwo festsetzen und dort zu Mumien erstarren. Ihr Körper ist angeschwollen, der Hinterleib erscheint weiß und schwarz geringelt und rings um das Tier bildet sich ein zarter weißer Hof aus. Diese Erscheinung hat

bereits Goethe zum Gegenstand seiner naturwissenschaftlichen Studien gemacht. Die wissenschaftliche Erklärung derselben ist von dem Breslauer Botaniker Cohn gegeben worden, der als den Verursacher der Krankheit einen mikroskopischen Pilz, *Empusa muscae*, erkannte. Das Fadengeflecht des Pilzes durchwuchert den Fliegenkörper und sendet endlich aus den weichen Ringen des mit Pilzgeflecht völlig ausgestopften Hinterleibes zarte Fadensäste hervor, die an ihren freien Enden zu einem winzigen kugelförmigen Knöpfchen anschwellen. Diese Knöpfchen sind Keimkörner oder Sporen, sie bilden die Fortpflanzungsorgane des Pilzes. Bei ihrer Reife werden sie durch die leiseste Erschütterung abgelöst und mit einer gewissen durch den Saftdruck des Tragsfadens bedingten Gewalt fortgeschleudert. Da ihre Oberfläche dabei klebrig benetzt ist, so haften sie an Gegenständen, mit denen sie in Berührung kommen. Schon die Luftbewegung, welche der Flügelschlag einer in der Nähe vorbeischnellenden Fliege verursacht, genügt, um einen Schwarm reifer Sporen zur Ablösung zu bringen. Dabei ist die Wahrscheinlichkeit nicht gering, daß einige Sporen die vorbeisteuernde Fliege treffen, und man hat durch direkte Beobachtung feststellen können, daß solche dem Fliegenkörper angeflogene Sporen zu einem Pilzfaden auswachsen können, der in den Leib des Tieres eindringt, dort die gleiche Erkrankung hervorruft und zur Hervorbringung gleicher Fortpflanzungsorgane befähigt ist.

Hier sehen wir die Übertragung der erblichen Eigenschaften durch ein winziges Körperchen bewirkt werden, dessen Durchmesser kaum den dreißigsten Teil eines Millimeters beträgt. Die Hervorbringung solcher Sporen, aus denen neue Pflanzen entstehen können, tritt bei allen Pilzen auf, und in sehr vielen Beispielen sind die gebildeten Sporen so fein und leicht und doch zugleich so widerstandsfähig, daß sie längere Zeit und auf weite Strecken mit dem Staub durch die Luft schweben können, ohne ihre Lebenskraft einzubüßen. Lassen wir Nahrungsmittel, die eine gewisse innere Feuchtigkeit besitzen, wie Käse, Brot oder eingemachte Früchte einige Zeit unbedeckt stehen, so siedeln sich auf ihnen leicht Schimmelpilze an, die wie die *Empusa* den Nährboden mit einem feinen Pilzfadengeflecht durchwuchern und endlich auf der Oberfläche Fruchtträger hervorbringen. Die letzteren sind aufrecht wachsende, je nach der Art des Schimmelpilzes, einfache oder verzweigte Äste,

die eine ungeheure Menge staubfeiner Sporen hervorbringen. In früheren Zeiten hat man wohl angenommen, daß diese Schädlinge, die unsere Nahrungsmittel verderben, durch eine Urzeugung entstehen könnten, daß sie aus dem zur Zersetzung geneigten Nährboden hervorstüben, ohne daß ein besonderer Keim dafür den Anfang zu bilden braucht. Aber in allen den Fällen, in denen man an solche Urzeugung gedacht hat, bei den Schimmelpilzen sowohl wie bei den zahlreichen Schmarogerpilzen, welche die Pflanzenkrankheiten verursachen, nicht minder auch bei den Erregern von Gärung und Fäulnis hat die exakte Untersuchung den Nachweis erbringen

können, daß der Ausgang der Entwicklung auf unsichtbare Keime zurückzuführen war, die wie der Staub durch die Luft oder durch direkte Berührung mit körperlichen Trägern auf den Nährboden gelangt waren. Die

ungeheure Menge der Sporen, welche ein einzelner Schimmelfaden hervorbringt, die mikroskopische Kleinheit der einzelnen Spore und ihre Befähigung sich in der Luft schwebend und lebend zu erhalten, erklärt es zur Genüge, daß die Schimmelbildung auf einem geeigneten Nährboden nicht ausbleiben kann, wenn dieser der Luft ausgesetzt wird.

So klein und einfach uns nun auch die Keimkörner der Pilze erscheinen mögen, so sehr sie auch bei manchen Pilzen

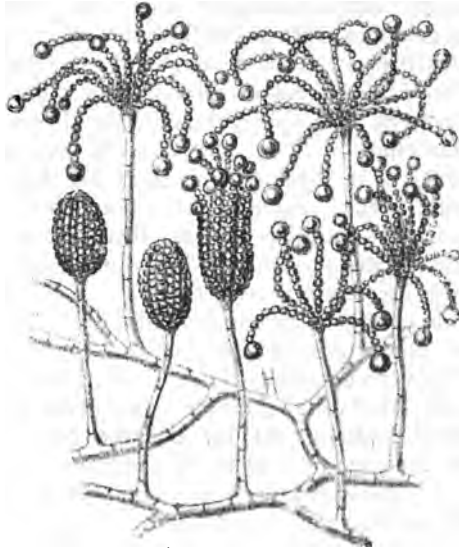


Abb. 3. Ein Teil eines Schimmelfadens stark vergrößert. Die kriechenden fäden des Schimmelpilzes (*Penicillium*) tragen aufrechte Äste, an denen graugrüne, perlschnurartig aneinandergereihte Sporen in ungeheurer Menge abgeschnürt werden.

arten äußerlich ähnlich sind an Größe, Gestalt und Färbung, jedes von ihnen hat doch seine besondere Natur und durch diese die Begabung aus sich eine Pflanze hervorgehen zu lassen, die in allen wesentlichen Eigenschaft derjenigen gleicht, von der die Spore gebildet wurde. Viel wunderbarer muß uns hier die Tatsache der Vererbung erscheinen, wo nicht wie bei den höheren Gewächsen der Vermittler der vegetiven Vermehrung einen hochorganisierten Teil der Mutterpflanze mit Sproßvegetationspunkten und Blattanlagen darstellt, sondern nur ein punktförmiges Körperchen von der denkbar einfachsten Gestalt. Der Schlüssel des Geheimnisses liegt darin, daß auch das Keimförmchen eine höchst komplizierte Organisation besitzt, die hier allerdings nicht in der äußeren Gestalt zum Ausdruck kommt, sondern in dem feineren Bau der Erbmasse gefunden werden muß, dessen Eigenart uns auch die stärksten Mikroskope nur zum Teil entziffern lassen. Was wir aber davon durch direkte Beobachtung erkennen können und noch mehr was wir darüber aus der wunderbaren Befähigung der Keimförmchen, so mannigfaltige Eigenschaften der Mutterpflanze auf die Nachkommen zu übertragen, schließen müssen, das erfüllt uns mit Staunen. Diese wunderbare Kompliziertheit in so kleinem Raume klar und deutlich vorzustellen, fällt dem menschlichen Geiste nicht minder schwer, als die Begriffe des Ewigen und Unendlichen in ihrer ganzen Weite zu umfassen.

Zunächst müssen wir konstatieren, daß alle die staubfeinen Keimförmchen in einem Punkte übereinstimmen: sie sind Zellen, d. h. sie gleichen in ihrer inneren Organisation den Lebewesen, aus denen sich der Pflanzenkörper wie aus lebenden Bausteinen zusammensetzt. An einer solchen Zelle unterscheiden wir die Zellwand — eine feste Haut, welche den Körper der Zelle nach außen begrenzt und den Zellinhalt — ein flüssigkeitsströpfchen, das den von der Zellwand umschlossenen Innenraum erfüllt. Wir dürfen uns also die Zelle, auch die kleinste Sporenzelle eines Schimmelpilzes als ein Bläschen mit fester Wand und flüssigem Inhalt vorstellen. Die Größe der Zellen im Pflanzenreiche ist sehr verschieden, den feinen Schimmelpilzsporen stehen im Körper der höheren Pflanzen Zellen gegenüber, deren Raumgehalt das mehrtausendfache der Pilzspore beträgt. An größeren Zellen gelingt es leicht, mit Hilfe des Mikroskopes noch weitere Aufschlüsse über die Organisation von

Zellwand und Zellinhalt zu erhalten. Es zeigt sich dabei, daß die Zellwand nur einen unwesentlichen Teil der Zelle darstellt, daß dagegen der flüssige Inhalt der eigentliche Träger des Lebens der Zelle ist. Man bezeichnet den lebenden Zellinhalt als das Protoplasma oder als Plasma. Es besteht der Hauptsache nach aus einer wasserreichen, schleimigflüssigen, feinkörnigen

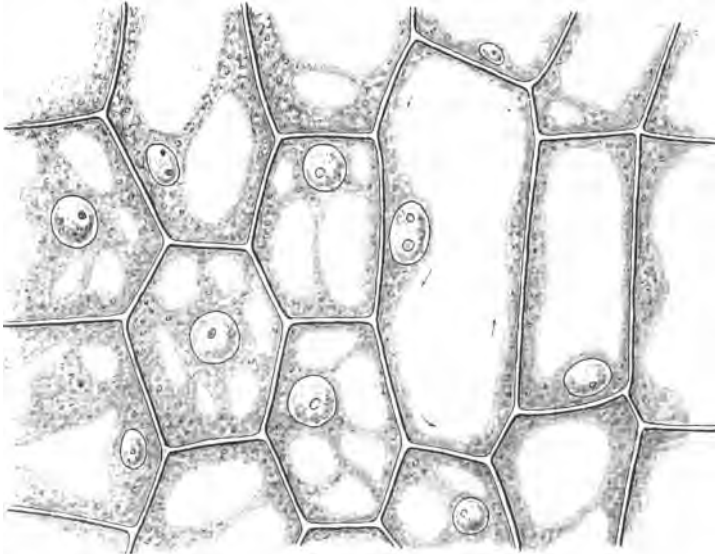


Abb. 4. Zellen aus dem Gewebe einer Wasserpflanze, stark vergrößert. Jede Zelle enthält in dem feinkörnigen Protoplasma einen rundlichen Zellkern. Von dem Protoplasma werden Hohlräume mit wässerigem Zellsaft umschlossen. In der größten Zelle ist die Bewegungsrichtung des Protoplasmas durch Pfeile angedeutet.

Mischung gewisser organischer Substanzen, und schließt einen oder mehrere festere Körper und häufig auch Hohlräume, die mit wässerigem Saft gefüllt sind, in sich ein. Es wäre eine grundfalsche Vorstellung, wenn wir annehmen wollten, daß die Eigentümlichkeit des lebenden Protoplasmas ausschließlich in der chemischen Zusammensetzung seiner Teile beruhe und durch diese ursächlich erklärt werden könne. Eine chemische Mischung herzustellen, in welcher alle die Grundsubstanzen, aus denen das

Plasma besteht, in dem gleichen Verhältnis wie in der lebenden Zelle vorhanden sind, das dürfte dem Chemiker schließlich nicht allzu schwer fallen, aber ein lebendes Plasma wäre damit noch nicht gegeben. Es muß in dem lebenden Protoplasma offenbar eine feine, für unsere Mikroskope nicht mehr wahrnehmbare Struktur vorhanden sein, welche wohl in der Anordnung der kleinsten Teilchen und in dem daraus sich ergebenden Wechselspiel der chemischen und physikalischen Kräfte zwischen ihnen bestehen mag, und welche die Substanz zu den Lebensäußerungen befähigt.

Eine der auffälligsten Lebensäußerungen des Plasmas besteht darin, daß es im Innern der Zelle sichtbare Bewegungen aus innerer Kraft auszuführen vermag. Man sieht mit dem Mikroskop die kleinen im Plasma eingeschlossenen Körperchen sich mehr oder minder schnell gegeneinander und gegen die Zellwand verschieben. Bei einzelnen Pflanzenzellen, wie z. B. in den Zellen des Blattes der kanadischen Wasserpest oder in gewissen Zellen der Armeleuchteralgen erfolgen die Verschiebungen so schnell und so regelmäßig, daß beständige Strömungen des Protoplasmas längs der Zellwände beobachtet werden können. Lassen wir nun in einem mikroskopischen Präparat, welches solche Zellen mit strömendem Plasma enthält, auf den Zellinhalt starken Frost oder Hitze, einen elektrischen Schlag oder giftige Substanzen einwirken, so hört die Bewegung plötzlich und für immer auf. Das Plasma ist getötet, ohne daß sein Gehalt an chemischen Elementarstoffen und sein Aussehen eine merkliche Veränderung erfahren haben. Wir können uns das nur durch die Annahme erklären, daß die schädlichen Einwirkungen jene feine unsichtbare Struktur des Protoplasmas zerstört haben, auf der das Spiel der Lebensäußerungen beruht.

Wir können auch ohne die Hilfe des Mikroskops den Nachweis erbringen, daß dem lebenden Protoplasma andere Eigenschaften zukommen, als derselben Substanz, wenn in ihr die feine, unsichtbare Struktur zerstört worden ist, die nach unserer Annahme die Vorbedingung für die Lebenserscheinungen bildet. In der roten Rübe enthalten die lebenden Zellen in ihrem Protoplasma einen Saft Raum mit einem rotgefärbten wässrigen Zellsaft. In den ausgewachsenen Zellen ist der Saft Raum so groß, daß er fast die ganze Zelle erfüllt, das Proto-

plasma umschließt ihn aber allseitig als ein dünnes Häutchen, welches der Zellwand dicht angeschmiegt ist. Wenn wir ein Stück aus einer roten Rübe herauschneiden und dasselbe gut mit Wasser abspülen, um den roten Saft der angeschnittenen Zellen zu entfernen, so können wir es für einige Zeit in klares Wasser legen, ohne daß eine Spur des roten Saftes in den erhalten gebliebenen Zellen das Wasser rötet. Die dünne Plasmahaut, welche den roten Saft in jeder Zelle umschließt, ist vollkommen undurchlässig. Töten wir aber an dem Rübenstück vorher die Zellen durch Kälte oder Hitze, so tritt auch, wenn alle Zellen vollkommen unverletzt geblieben sind, der rote Zellsaft in das Wasser aus und färbt dasselbe dunkelrot. Das tote Plasma besitzt, trotz gleicher chemischen Zusammensetzung, die Eigenschaft des lebenden, für den roten Zellsaft undurchlässig zu sein, nicht mehr.

Unter den festeren geformten Einschlüssen des Zellenplasmas beansprucht besonders ein rundlicher, farbloser Ballen unser Interesse, der sich meist in Einzahl in jeder Zelle vorfindet und als Zellkern bezeichnet wird. Das regelmäßige Vorkommen wenigstens eines Zellkerns in jeder typischen Pflanzenzelle, sein Verhalten bei den verschiedensten Lebensäußerungen des Zellkörpers, die wunderbaren Bedingungen, an die überall in der organischen Natur die Entstehung neuer Zellkerne geknüpft sind, lassen uns schließen, daß es sich um einen sehr wichtigen Bestandteil in der Organisation der lebendigen Substanz handeln muß. Den Bemühungen der Mikroskopiker ist es in der Neuzeit gelungen, an dem Zellkern wenigstens einen Teil der feineren Strukturen sichtbar zu machen, die wir als eine Vorbedingung des organischen Lebens anzusehen haben und die, wie wir annehmen müssen, zu der Frage nach der erblichen Übertragung der mütterlichen Eigenschaften auf eine Tochterpflanze durch Vermittelung einer einzigen Zelle in engster Beziehung stehen.

Um die richtige Vorstellung der zu schildernden Strukturverhältnisse nicht zu verlieren, müssen wir uns immer gegenwärtig erhalten, daß der Zellkern, der ja in vielen Fällen nur einen Teil einer mit freiem Auge nicht mehr sichtbaren Zelle bildet, ein rundliches Körperchen von außerordentlicher Kleinheit ist; oft beträgt sein Durchmesser, besonders in den Zellen der Pilze, nur wenige Tausendstel eines Millimeters, von einigen als

Ausnahme zu betrachtenden Riesenkernen abgesehen, steigt sein Durchmesser bei kugeliger Gestalt kaum jemals über $\frac{1}{25}$ mm hinaus. Trotz dieser äußersten Kleinheit ist es gelungen, den inneren Bau des Zellkerns näher zu studieren, hauptsächlich dadurch, daß man Mittel gefunden hat, die verschiedenen Bestandteile des Kernes in verschiedener Weise mit Farbstoffen zu imprägnieren. Gewisse Teile des Zellkerns haben nämlich die Eigenschaft Farbstoffe, die in Lösung hinzugefügt werden, in sich aufzunehmen, während andere Teile ungefärbt bleiben.

In einem auf diese Weise künstlich gefärbten Kern fallen zunächst ein oder mehrere rundliche Körner auf, die Kernkörperchen oder Nukleolen. Sodann lassen die stärksten Vergrößerungen unserer Mikroskope ein wabenartig zusammengefügtes Gerüstwerk erkennen, in welches zahlreiche stärker gefärbte Körnchen eingebettet sind. Die Substanz des wenig gefärbten Gerüstwerkes wird als Linnin, die gefärbten Körnchen darin werden als Chromatin bezeichnet. Ein die Lücken des Linningerüstes erfüllender Kernsaft ergänzt den Aufbau; nach außen hin wird der Zellkern durch eine derbere hautartige Schicht des Protoplasmas die sogenannte Kernmembran begrenzt.

Die Vermehrung der Zellkerne in dem Pflanzkörper erfolgt immer durch einen Teilungsvorgang, bei dem die Teile des Kernes eine sehr merkwürdige Umlagerung erfahren, die uns in die Kompliziertheit des feineren Baues einen weiteren Einblick gestattet. In einem Kern, der sich zur Teilung vorbereitet, bildet sich zunächst aus den durch Linnin verbundenen Chromatinkörnchen ein Fadentnäuel aus. Der anfangs dünne Faden verdickt sich, in dem er sich mehr zusammenzieht, und zerfällt durch Querteilung in annähernd gleich lange Fadenstücke, deren Anzahl für jede Pflanzenart in allen vegetativen Zellen des Körpers die gleiche ist. Diese als Chromosomen bezeichneten Fadenstücke ordnen sich in der Mitte des Kernes in einer Fläche an, die man im Vergleich des kugeligen Kernes mit der Weltkugel als Äquatorialebene zu bezeichnen pflegt. Von den Stellen am Kernumfang, die bei diesem Vergleich den Polen der Weltkugel entsprechen würden, gehen feine Fadenbüschel aus, welche bis gegen die Äquatorialplatte der Chromosomen vordringen, während die Kernmembran allmählich undeutlich wird. Die ganze Kernfigur gewinnt dadurch

die Gestalt einer frei im Zellenplasma liegenden Spindel. Die Chromosomen erfahren nun alle gleichmäßig eine Längsspaltung, so daß also ihre Zahl in der Äquatorialplatte verdoppelt wird. Von jedem Chromosomenpaar rückt dann das eine gegen den

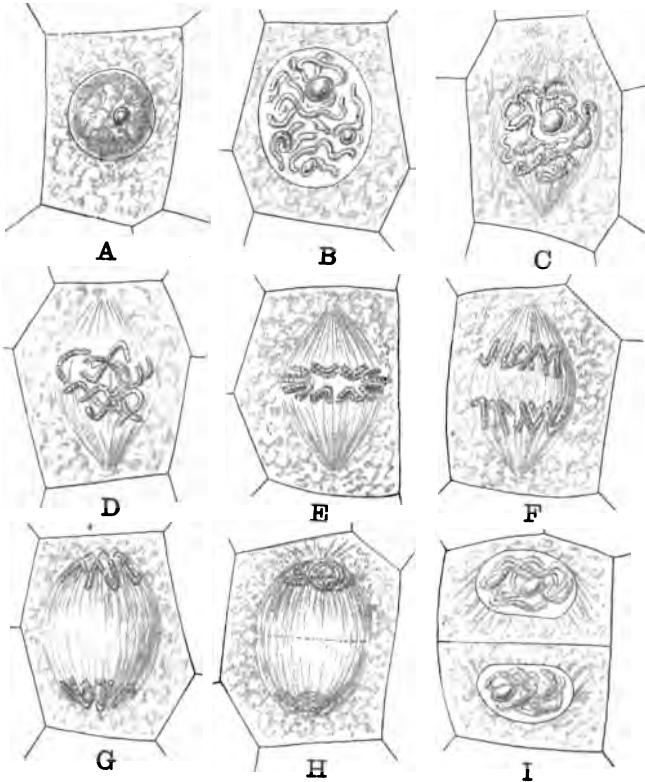


Abb. 5. A—I Zellen, deren Kerne die aufeinanderfolgenden Phasen der Kernteilung zeigen, sehr stark vergrößert.

einen, das andere gegen den andern Pol der Spindel hin. Die Äquatorialplatte löst sich also in zwei Chromosomengruppen auf, die beide die gleiche Zahl von Chromosomen besitzen, welche der Mutterkern vor der Teilung aufwies. Die Chromo-

somengruppen sammeln sich jede an ihrem Pol und bildet sich dort zu dem Kerngerüst je eines Tochterkerns aus, um den das Plasma eine neue Kernmembran abscheidet.

In der Mehrzahl der Fälle folgt auf die Kernteilung alsbald auch eine Teilung der Zelle, indem zwischen den beiden neuentstandenen Kernen eine neue Zellwand auftritt, die von einer Wand zur anderen durch die ehemalige Zelle hindurchsetzt und dadurch den Körper der Zelle in zwei Teile trennt.

Das wesentliche Moment bei diesem komplizierten Vorgang der Kern- und Zellteilung ist darin zu sehen, daß durch dieerspaltung der Chromosomen jeder neue Kern genau die gleiche Anzahl der Chromosomen erhält, die der Mutterkern besaß, und daß die an Zahl gleichen Chromosomen auch paarweise in ihrer inneren Zusammensetzung übereinstimmen, da sie durch die Halbierung eines Einzigen entstanden sind. Jede neue Zelle bekommt auf diese Weise einen ganzen Kern, der in seiner inneren Organisation dem Kerne der Mutterzelle gleicht; alle Zellen einer Pflanze besitzen die gleiche Struktur ihres Zellkerns mit der gleichen Zahl und inneren Beschaffenheit der Chromosomen. Auch die sich ablösenden Fortpflanzungszellen der Pilze haben bei der zur Entstehung ihres Kerns führenden Teilung eines Kerns der Mutterpflanze in allen Einzelheiten genau die gleiche Kernstruktur empfangen, die alle Zellen der Mutterpflanze besitzen. Und wie die Zellen der Mutterpflanze durch die bestimmte Organisation ihres Zellkerns beherrscht die für die Art charakteristischen Eigenschaften aufweisen, welche dem Gesamtkörper sein eigenartiges Gepräge verleihen, so müssen auch die Zellen der Tochterpflanze, welche durch Teilung aus der Sporenzelle hervorgegangen, die gleiche Organisation der Kerne von dieser übernommen haben, gleiche Eigenschaften aufweisen und einen mit gleichen Merkmalen versehenen Pflanzentkörper aufbauen. Wenn nun auch bei unserer einheimischen Empusaart die Sporenzelle statt des einen mehrere Kerne enthält, so sind für sie diese Erwägungen nicht minder zutreffend, als bei den einkernigen Fortpflanzungszellen.

Die erbliche Übertragung der körperlichen Eigenschaften beruht demnach auf der Gleichheit der Zahl der Chromosomen und auf der völligen Übereinstimmung ihres Baues in allen Zellkernen der Pflanzenart. Die Chromosomen sind die körperlichen Träger der erblichen Eigenschaften. Bei der vegetativen

Vermehrung haben die Fortpflanzungszellen hauptsächlich die Übertragung der für die betreffende Pflanzenart charakteristischen Chromosomenzahl und Chromosomenstruktur des Kerns auf die Tochterpflanze zu vermitteln.

Kapitel II.

Der Befruchtungsvorgang bei Grünalgen.

Neben der vegetativen Vermehrung der Gewächse durch Stecklinge, Ableger, Ausläufer, Brutknospen, Zwiebeln, Brutkörperchen und Keimförner findet sich allgemein verbreitet ein zweiter Vorgang, der zur Erzeugung einer artgleichen Nachkommenschaft führt, die geschlechtliche Fortpflanzung. Dieser Vorgang zeichnet sich vor dem ersteren sehr wesentlich dadurch aus, daß der Anfang der Nachkommen stets von einer Zelle gebildet wird, die durch Verschmelzung zweier Zellen verschiedenen Ursprungs entstanden ist. Die verschmelzenden Zellen werden als Gameten oder Geschlechtszellen bezeichnet. Der einzelne Gamet kann für sich allein normalerweise nicht zu weiterer Entwicklung kommen, die Anregung zu der Weiterentwicklung und die Befähigung zur Bildung von Nachkommen, die der Stammpflanze des Gameten ähnlich sind, wird erst durch die Verschmelzung mit einem zweiten Gameten erworben. Den Vorgang dieser die Fortbildung auslösenden Zellverschmelzung nennt man Befruchtung.

Die denkbar einfachste Form des Befruchtungsvorganges wurde zuerst im Jahre 1869 von meinem als Algenforscher berühmten Lehrer Pringsheim bei einer kleinen Süßwasseralge, *Pandorina Morum*, beobachtet. Diese Alge besitzt einen sehr einfachen Bau, der es gestattet, alle Lebensvorgänge in ihren Zellen mit dem Mikroskop im Wassertropfen direkt zu verfolgen. *Pandorina* besteht aus sechszehn gleichen Zellen, die zu einem maulbeerartigen Häufchen vereinigt sind. Jede Zelle hat eine Zellwand und einen Protoplasmainhalt mit einem Zellkern. Neben dem letzteren finden sich in den Zellen der Algen noch weitere geformte Bestandteile von verschiedener Gestalt, die mit einem grünen Farbstoff, dem Blattgrün oder Chlorophyll gefärbt

sind. Für die Fortpflanzungserscheinungen und für unsere Betrachtungen hier sind diese grünen Zellinhaltskörper, die man als Chlorophyllkörper bezeichnet, von keiner Bedeutung. Es mag genügen, hier zu erwähnen, daß dieselben im Leben der Algen und überhaupt aller grün gefärbten Pflanzen als Ernährungsgane eine sehr wichtige Rolle zu spielen haben, und daß sie als Organe der Pflanzenzellen eines der Merkmale bilden können, durch die wir tierische und pflanzliche Organismen von einander unterscheiden können. In den wenigen Fällen, in denen echte Tiere mit Chlorophyllkörpern ausgestattet zu sein scheinen, liegt eine Vergesellschaftung von Tieren mit niederen Pflanzen vor.

Als eine Besonderheit, die nur wenigen Pflanzen zukommt, weisen die grün gefärbten Zellen der Pandorina Bewegungsorgane auf. Dieselben sind äußerst feine Fäden, die der lebende Zelleib durch die Zellwand nach außen streckt. Die als Zilien oder Wimpern bezeichneten Fäden entspringen zu zweien nebeneinander an der nach außen gekehrten Seite der Zellen in der Kolonie. Ihr Hin- und Herschwingen vermag die ganze sechszellige Kugel in lebhafteste Rotation zu versetzen und dieselbe im Wasser von Ort zu Ort fortzubewegen.

Eine vegetative Vermehrung kommt bei Pandorina dadurch zustande, daß in jeder der sechzehn Zellen einer Kolonie sich der Zellkern durch viermal wiederholte Zweiteilung in 16 gleiche Kerne teilt, und danach der Plasmaleib in sechzehn einkernige Partien zerfällt. Diese grenzen sich durch Zellwände gegen einander ab und bilden eine neue Kolonie, welche unter Nahrungsaufnahme zu der Größe der Mutterkolonie heranwachsen kann. Der geschlechtlichen Fortpflanzung geht eine ganz ähnliche Teilung der Zellen in je sechzehn Zellen voraus, nur verzögert sich der Vorgang etwas und die neuentstandenen Zellen bleiben nicht im Verbande der Kolonie. Indem sich die Zellwände der Mutterzellen auflösen, werden die 16×16 neugebildeten Zellen frei. Sie schlüpfen mit Zurücklassung ihrer eigenen Trennwände als nackte, mit zwei Zilien versehene Plasmakörperchen ins umgebende Wasser hinaus und führen schwimmende Bewegungen aus. Die nackten Schwärmzellen nehmen eine birnförmige Gestalt an. Ihr spitzes Ende, welches die beiden Zilien trägt, ist bis auf einen seitlich gelegenen roten Punkt, den sogenannten Augenfleck ungefärbt; der größere Teil des abgerundeten

Endes dagegen zeigt durch seine grüne Färbung die Lage des Chlorophyllkörpers an. Nach einigem Umherschwärmen im Wassertropfen nähern die Schwärmer sich paarweise einander. Sie kommen zur Berührung, indem sie mit den ungefärbten

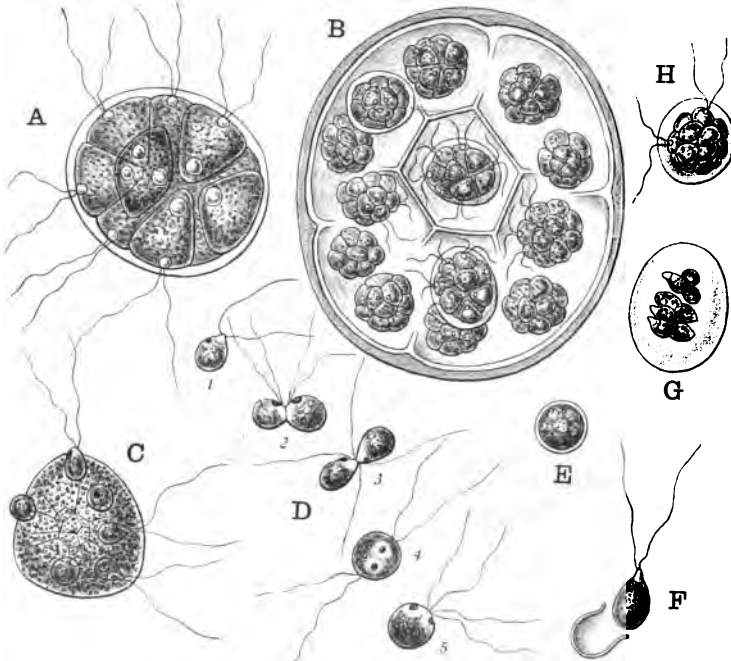


Abb. 6. *Pandorina morum*, stark vergrößert (nach Pringsheim).

A Vegetative Kolonie. B Kolonie in vegetativer Vermehrung. Jede Zelle bildet eine neue Kolonie. C Eine Zelle, welche Gameten bildet. D Verschmelzende Gameten. 1—5 verschiedene Stadien der Verschmelzung. E Zygote. F Die aus der Zygote hervorgehende Schwärmzelle. G Teilung der zur Ruhe gekommenen Schwärmzelle in 8 Zellen. H Junge Kolonie.

Vorderenden aufeinanderstoßen. Die ursprünglich noch deutlich wahrnehmbare Grenze an der Berührungsstelle wird undeutlich und die beiden nackten Zellen fließen schließlich im Lauf weniger Minuten unter den Augen des Beobachters zu einer einzigen

Seitlage zusammen. Du an ihren **außerlichen Teil** vier Zellen und zwei rote **Augenflecke** anwend. Damit ist der Vorgang der Befruchtung ausgedrückt.

Du hast demnach hier die **wachsenden Schwärmzellen** als die **Eumeren** anzuwenden. Die aus ihrer **Verfruchtung** hervorgegangene Zelle bezeichnet man als **Gygote**.

Die Gygote verbleibt nach länger Zeit ihre Zellen und es tritt im Inneren nur ist **gehende Veränderungen** machen sie dadurch bemerkbar, daß die **angehende Zelle** sich mit einer dicken **Sehne** umgibt und **zuerst** ein wenig **dunkelgrün**, später **rot** wird. In diesem **Stadium** kann die **Gygote** eine **Abperiode** durchmachen. Später **kennt** sie, indem der **Inhalt** der Zellwand **zerstört** und als **Schwärmzelle** **hervortritt**. Die letztere **teilt** sich **aus** in **vielen** Zellen, welche eine neue **Pandorimatolonie** bilden.

Da die **Pandorima** wegen ihrer **Befähigung** zu **freier Ortsbewegung** in **Encrasmenen** wohl nicht ganz **frei** sein mag von dem **Verdacht**, ein **Tier** zu sein, so soll noch ein **zweites Beispiel** für die **einfache Verfruchtung** **zweier schwärmender Eumeren** bei dem **Befruchtungsvorgange** hier **Platz** finden. Du haben in **unseren Gewässern** eine **ganze Reihe** von **grünen Algen**, deren **Vegetationskörper** einen **einfachen**, aus **Zellen** zu **sammengesetzten Fäden** bildet. Manche **derartige Fadenalgen** sind an einer **Unterlage** mit einem **Ende** durch ein **Haftorgan** **befestigt**, andere **schwimmen** **frei** im **Wasser** und **machen** sich zu **Zeiten** **dadurch** **auffällig**, daß sie als **grüne**, **schaumige Schlammfäden** in **Menge** auf der **Oberfläche** **stehender Gewässer** **erscheinen**. Auf **überschwemmten Wiesen** **sammeln** sich **solche grüne Fadenalgen** **bisweilen** in **solcher Menge** an, daß ihre **Massen** beim **Zurücktreten** des **Wassers** **über** den **Halmen** und **Blättern** der **Wiesengräser** zu **tuchartigen Häuten** **zusammentrocknen**, die als **Wiesentuch** oder **Wiesenleder** **bezeichnet** werden.

Zu den **grünen Fadenalgen** gehört auch die **Kraushaaralge** (*Ulothrix*), auch wohl als **Brunnenfaden** **bezeichnet**, weil sie sich **gern** an den **Ausflußröhren** **immerfließender Brunnen** **ansiedelt**. Die **zylindrischen Fäden** der **Kraushaaralge** sind durch **Querwände** in **kurze Zellen** **gegliedert**, die in ihrem **Protoplasma** einen **Kern** und einen **Chlorophyllkörper** in **Gestalt** einer **großen grünen**, der **Außenwand** der **Zelle** **angeschmiegt** **Platte** **einschließen**. Wir können bei *Ulothrix* eine **ausgiebige**

vegetative Vermehrung beobachten. Der Inhalt einzelner fadenzellen teilt sich nach vorausgegangener Kernteilung in zwei Protoplasmaportionen. Diese treten durch ein entstehendes Loch in der Zellwand in das Wasser aus und stellen nun den Pilzsporen vergleichbare einzellige Fortpflanzungszellen dar. Sie unterscheiden sich aber von den Pilzsporen dadurch, daß sie keine Zellwand besitzen, und daß sie im Wasser die birnförmige Gestalt von Schwärmzellen annehmen, die an dem ungefärbten Vorderende vier Zilien und seitlich einen roten Augenfleck aufweisen. Man bezeichnet sie wegen ihrer Formgestaltung und wegen der Befähigung zu freier Ortsbewegung als Schwärm-sporen. Ihre Bewegungsfähigkeit ist meist nur von kurzer Dauer; sie setzen sich bald mit dem farblosen Ende an irgend einem Gegenstande im Wasser fest, verlieren die Zilien, bilden eine neue Zellwand aus, und wachsen unter fortgesetzter Kern- und Zellteilung zu einem neuen Algenfaden heran, wobei die Gleichheit aller Zellkerne in Beziehung auf Zahl und Organisation der Chromosomen in der bekannten Weise durch den Kernteilungsprozeß gewährleistet ist.

Die geschlechtliche Fortpflanzung wird wie bei *Pandorina* durch Schwärmgameten vermittelt. Einzelne Zellen der fäden werden zu Gametenbehältern. Ihr Inhalt teilt sich in eine größere Anzahl von nackten Zellen, die je einen durch typische Kernteilung von dem Kern der Mutterzelle abgeleiteten Zellkern besitzen. Diese Zellen sind die zur Befruchtung befähigten Gameten. Sie werden wie die ungeschlechtlichen Schwärm-sporen durch ein seitlich an der Zellwand sich bildendes Loch frei und nehmen im Wasser die bekannte Birnform der Schwärmer an. Im Gegensatz zu den ungeschlechtlichen Schwärmern, die ja viel größer sind, besitzen sie am farblosen Vorderende nur zwei Zilien. Der Befruchtungsvorgang, die paarweise Verschmelzung der Schwärmgameten erfolgt in der gleichen Weise, wie es für *Pandorina* oben geschildert worden ist. Auch hier wird schließlich eine dickwandige Zygote gebildet. Aus ihr gehen nach einer Ruhepause eine Anzahl ungeschlechtlicher Schwärm-sporen hervor, die sich festsetzen und bald zu neuen Ulothrifäden heranwachsen.

Es ist für unsere Betrachtung nicht ohne Bedeutung, daß bei Ulothrig einzelne Schwärmgameten, die nicht zur Verschmelzung mit anderen gekommen sind, sich trotzdem weiter entwickeln

fönnen. Man hat beobachtet, daß die Schwärmgameten unter gewissen Bedingungen ohne die Verschmelzung zu einer der normalen Zygote durchaus ähnlichen Dauerspore werden, die wie jene keimt. Ferner ist festgestellt worden, daß aus gewissen Fadenzellen, die in Beziehung auf die Zahl der in ihnen gebildeten freien Zellen den Gametenbehältern gleichen, ausschließlich kleine ungeschlechtliche Schwärmsporen mit vier Zilien hervorgehen, welche direkt zu Fäden auswachsen können. Wir

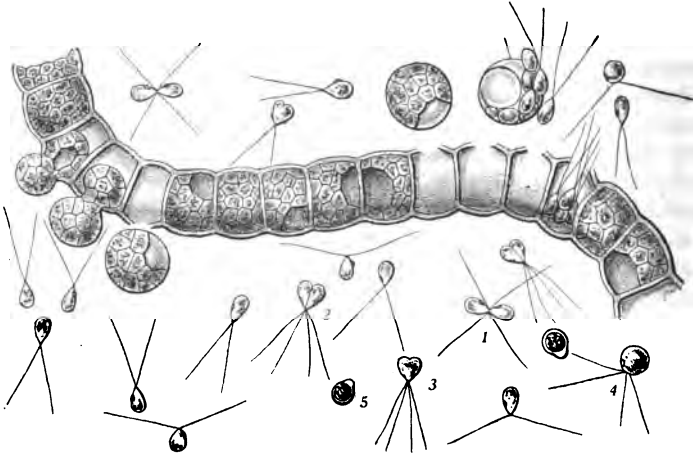


Abb. 7. Ein Fadenstück der Grünalge Ulothrix, dessen Zellen Gameten bilden, vergrößert. 1—5 Verschiedene Phasen der Verschmelzung ausgeschwärmter Gameten.

sehen daraus, daß auf dieser niederen Stufe der Befruchtungsvorgang noch nicht eine unerläßliche Bedingung für die Fortentwicklung der Geschlechtszellen bildet. Die Organisation der Geschlechtszellen ist von derjenigen der ungeschlechtlichen Vermehrungszellen noch nicht so wesentlich verschieden, wie es bei den höheren Pflanzen der Fall ist. Wir werden auf diese Erscheinung später noch zurückkommen.

Die Ausbildung von Sporen und Gameten, welche Zilien tragen und durch dieselben in Stand gesetzt sind, im Wasser freie Ortsbewegungen auszuführen, erscheint als eine vorteilhafte Anpassung an das Leben im Wasser. Durch sie wird es den

Zellen, die der vegetativen Vermehrung dienen, ermöglicht neue Standorte aufzusuchen und die Alge von ihrem festen Wohnplatz aus in neuen Gebieten anzustedeln. Die Geschlechtszellen gewinnen durch ihre Bewegungsfreiheit die Möglichkeit, einander auch aus größerer Entfernung zur Verschmelzung zu nähern. Bei *Ulothrix* findet die regelrechte Verschmelzung zur Zygote nicht zwischen den Gameten eines Fadens oder gar eines Gametenbehälters statt, sondern die paarweise verschmelzenden Geschlechtszellen stammen von verschiedenen Fäden der Alge ab. Ohne freie Bewegung würde die Vereinigung der zur Verschmelzung geeigneten Gameten offenbar in weit höherem Grade von dem glücklichen Zufall abhängig sein. Daß aber der Ausbildung der Zilien für den Befruchtungsvorgang selbst keine wesentliche Bedeutung zukommt, geht schon daraus hervor, daß sie keine ausnahmslose Begleiterscheinung der geschlechtlichen Fortpflanzung bildet.

Für den Befruchtungsvorgang bei Formen, deren Geschlechtszellen ohne Zilien zur Verschmelzung kommen, bietet eine andere Gruppe von grünen Fadenalgen ein ausgezeichnetes Beispiel dar. Die Algengattung *Spirogyra* baut ihre Fäden, wie *Ulothrix* aus zylindrischen Zellen auf, die einen Zellkern und einen oder mehrere grüne Chlorophyllkörper enthalten. Die Form der letzteren ist für die Gattung charakteristisch. Sie stellen schmale Bänder dar, welche der Zylinderwand der Zelle angeschmiegt den inneren Hohlraum der Zelle in regelmäßiger Schraubenlinie umwinden. Die Vermehrung der Zellen im Faden erfolgt durch regelmäßige Zweiteilung der Zellen, wobei der Entstehung der neuen Querwand stets eine typische Kernteilung vorausgeht. Längere Fäden können in einzelne Stücke zertrennt werden, die sich durch Wachstum und Zellteilung verlängern; selbst eine einzelne isolierte Zelle kann zum neuen Faden auswachsen. Besondere Organe der vegetativen Vermehrung werden bei *Spirogyra* nicht gebildet.

Wenn die Alge sich zur geschlechtlichen Fortpflanzung vorbereitet, so legen sich die Fäden einer Ansammlung parallel nebeneinander. Die gegenüberliegenden Zellen benachbarter Fäden beginnen, kurze zapfenförmige Ausstülpungen der Zellwand an ihren Außenwänden hervorzutreiben, welche mit ihren fortwachsenden Enden direkt gegeneinander gefehrt sind. Diese korrespondierenden Auswüchse wachsen so lange fort, bis sie mit-

einander in Berührung treten. An der Berührungsstelle wird die Zellwand der Ausstülpungen aufgelöst, so daß nunmehr die beiden vereinigten Auswüchse einen offenen Verbindungskanal zwischen den beiden gegenüberliegenden Zellen der benachbarten Fäden bilden. Gewöhnlich geht die Ausbildung der Verbindungskanäle in zahlreichen Zellen der beiden Fäden ziemlich gleichzeitig vor sich, so daß die Fäden wie die Bäume einer

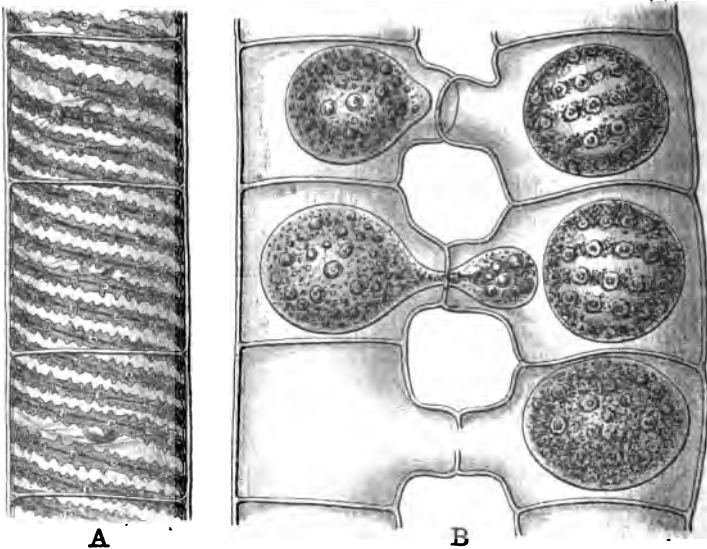


Abb. 8. Fadenstücke von *Spirogya*, vergrößert.
A Zellen im vegetativen Zustande. B Zellen zweier benachbarter Fäden in verschiedenen Stadien der geschlechtlichen Vereinigung.

weiter durch die Sprossen miteinander verbunden sind. Während die Auswüchse entstehen und zur Berührung kommen, spielen sich im Innern der Zelle gewisse Veränderungen ab. Der Zellinhalt zieht sich allmählich von der Zellwand zurück, indem ein Teil des wässerigen Saftes aus dem Sastraum der Zelle durch das Protoplasma nach außen tritt und dort den Raum zwischen der Zellwand und dem sich verkleinernden Protoplasmaleib erfüllt. Auf diese Weise wird im Innern der beiden durch den Befruchtungskanal verbundenen Zellen Raum ge-

schaffen für eine Bewegung des zusammengezogenen Protoplasmaleibes derselben. Der eine der Zellkörper rückt gegen den Verbindungsschlauch hin; er tritt in denselben hinein und zwingt sich durch die enge Röhre zu dem anderen Protoplasmaleib in den jenseitigen Zellraum hinein. Beide Zellen vereinigen sich und bilden im Innern des Mutterzellraumes eine eiförmige Zygote, die sich mit einer dicken Zellwand umkleidet. Aus der Zygote wächst nach einer Ruhepause ein Keimfaden hervor, dessen Zellen in Gestalt und innerer Ausbildung denjenigen Zellen ähnlich sind, durch deren Verschmelzung die Zygote entstanden ist.

In diesem Beispiel sehen wir die Gametenverschmelzung, die sich bei *Pandorina* und *Ulothrix* im Wasser vollzieht im Inneren des einen Gametenbehälters vor sich gehen. Im übrigen aber treffen wir annähernd die gleichen Verhältnisse an wie bei jenen: Zwei unter sich ziemlich gleiche Zellen vereinigen sich zur Zygote. — In einer Beziehung kann man allerdings einen geringen Unterschied zwischen den beiden Gameten eines verschmelzenden Paares wahrnehmen. Die eine der Zellen verbleibt an ihrem Platz in dem Gametenbehälter, die andere dagegen führt Bewegungen aus, um die Vereinigung herbeizuführen. Man kann in diesem verschiedenen Verhalten der beiden Gameten den ersten Anfang einer geschlechtlichen Differenzierung der beiden verschmelzenden Fortpflanzungszellen erblicken. Der weibliche Gamet zeigt wohl ein gewisses Entgegenkommen, indem er, wie sein männlicher Partner an der Ausbildung der Verbindungsröhre sich beteiligt, dann aber bleibt er passiv in seinem Kämmerlein, während der männliche Gamet mit einem gewissen Aufwand an innerer Energie und ersichtlich nicht ohne einen gewissen Zwang und Drang auf dem engen Pfade aus seiner eigenen Zelle in das Gemach der Genossin eilt.

Die Verschiedenheit zwischen den Gameten eines verschmelzenden Paares, die uns zur Unterscheidung von männlichen und weiblichen Gameten berechtigt, macht sich bei anderen Algenformen noch viel auffälliger bemerkbar, indem auch die Gestalt und Größe und die innere Organisation der Geschlechtszellen abweichend ausgebildet sind. In den extremsten Fällen treffen wir den weiblichen Gameten in Gestalt eines ruhenden Eies an, den männlichen dagegen in Gestalt eines vielmals kleineren Schwärmers, den man in Analogie mit den männlichen

Befruchtungszellen der Tiere als Spermatozoid zu bezeichnen pflegt. Immer sehen wir in solchen Fällen die geschlechtliche Verschiedenheit auch in der Gestalt der Gametenbehälter zum Ausdruck kommen und man hat diese deshalb mit besonderen Namen belegt. Die Behälter, aus denen die Spermatozoiden hervorgehen, heißen Anthridien, diejenigen, in denen sich die der Befruchtung harrenden Eier ausbilden, heißen Oogonien.

Den Übergang zwischen den Formen, die wie *Pandorina* und *Ulothrix* annähernd gleiche Gameten ausbilden, und denen, die mit Spermatozoiden und ruhenden Eiern ausgestattet sind, bilden im Anschluß an die soeben geschilderten *Spirogyren* solche Algen, deren weibliche Gameten, bevor sie zum ruhenden Ei werden, zuerst noch ein kurz dauerndes Schwärmerstadium durchlaufen. Ich will als solche Übergangsbildung hier eine kleine grüne Fadenalge des süßen Wassers schildern, namens *Aphanochaete*, deren Vegetationskörper sich gewöhnlich auf der Oberfläche anderer Algen oder auch wohl auf Stengeln und Blättern untergetaucht lebender Blütenpflanzen ansiedeln. Die Ansiedelung besteht in der Regel aus einem, oft kaum millimetergroßen System von Ästen, die von einem kurzen Hauptfaden ausgehend sich der Unterlage dicht anschmiegen. Die runden Zellen des Verzweigungssystems besitzen Zellkern und Chlorophyllkörper in dem feinkörnigen Protoplasma. Einzelne Zellen tragen ein aufrecht abstehendes, farbloses Haar. *Aphanochaete* vermehrt sich vegetativ durch Schwärmsporen. Daneben kommt unter gewissen äußeren Bedingungen eine geschlechtliche Fortpflanzung zustande. Die etwas kleineren Endzellen der Verzweigungssysteme werden zu Anthridien. Ihr Inhalt bildet einen oder zwei Spermatozoiden, die durch einen Riß in der Anthridienwand frei werden und sich nun in Gestalt birnförmiger Schwärmer mit vier Zilien am farblosen Vorderende im Wasser herumtummeln. Die Oogonien, die Zellen, aus denen die Eizellen hervorgehen, liegen mehr in der Mitte des Verzweigungssystems. Sie sind viel größer als die Anthridien und zeichnen sich vor diesen besonders dadurch aus, daß sie in ihrem Inhalte eine größere Menge von Nahrungstoffen aufspeichern, Stärke und fettes Öl, die in Form von Körnern oder Tropfen im Protoplasma eingeschlossen sind. Aus jedem Oogonium bildet sich ein einziger, weiblicher Gamet,

der den gesamten Zellinhalt des Ogoniums in sich aufnimmt und demnach die Spermatozoiden beträchtlich an Größe übertrifft. Durch einen Riß der Ogonienwand ins Wasser aus tretend, bildet der weibliche Gamet eine Kugel, die zum größten Teil durch den großen Chlorophyllkörper grün gefärbt erscheint. Ein farbloser fleck deutet das Vorderende des Schwärmers an, der ebenso wie die Spermatozoiden vier Zilien entwickelt. Die letzteren spielen aber nur kurze Zeit die Rolle von Bewegungsorganen. Sie verschwinden bald, und der Gamet wird damit zum befruchtungsreifen, ruhenden Ei. Die Befruchtung des-

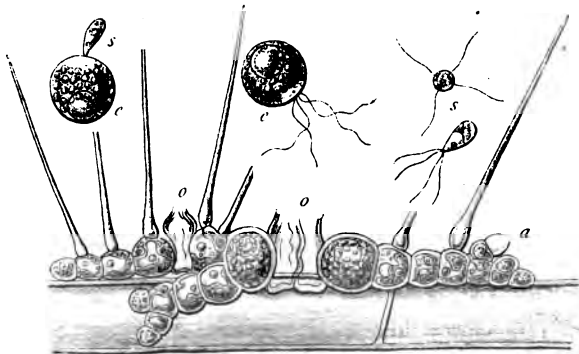


Abb. 9. *Aphanochaete repens*, stark vergrößert (nach Huber).
a entleertes Antheridium, o entleerte Oogonien, s Spermatozoiden,
e Eizellen. Links oben beginnende Verschmelzung eines Spermatozooids mit einer Eizelle.

selben wird dadurch eingeleitet, daß sich die schwärmenden Spermatozoiden ihm nähern. Eines derselben dringt darauf mit dem Vorderende voran in den ungefärbten Teil des Eies ein und verschwindet ganz in demselben. Als nächste folge des Befruchtungsvorganges haben wir die Ausbildung einer Zellwand um den bis dahin nackten Plasmaleib des Eies anzusehen. Innere Veränderungen machen sich durch das Hellerwerden des Oles im Protoplasma bemerkbar. Das damit erreichte Entwicklungsstadium des befruchteten Eies entspricht offenbar den Zygoten der früher besprochenen Algen und kann wie diese eine Ruhepause überstehen. Um aber den in der geschlechtlichen Verschiedenheit der Gameten bestehenden Unter-

Gieenhagen, Befruchtung.

schied in der Entstehungsweise auch in der Bezeichnung dieses Gebildes zum Ausdruck zu bringen, bezeichnet man das befruchtete Ei nach Abschluß der durch den Befruchtungsvorgang angeregten inneren Veränderung als Oospore. Die Keimung der Oospore von *Alphanochaete* ist bisher noch nicht direkt beobachtet worden. Wir dürfen indes diese Lücke in unserer Kenntnis von dem Entwicklungsgange der *Alphanochaete* hier auf sich beruhen lassen, da diese Verhältnisse bei anderen ähnlichen Formen aufs genaueste untersucht und aufgeklärt worden sind, so daß wir sie auch bei der Behandlung der Vererbungsfrage zur Grundlage unserer Betrachtung machen können.

Ich wähle mit Bedacht zur Schilderung des Vorganges der Oosporenkeimung das Beispiel einer mikroskopisch kleinen Grünalge aus der Gattung *Coleochaete*, deren Arten über die ganze Welt verbreitet, auch in unseren Seen und Teichen vertreten sind. Der Vegetationskörper der *Coleochaete* setzt sich bei den meisten Arten aus verzweigten von einem Zentrum ausstrahlenden Zellfäden zusammen, die entweder durch die gallertartige Beschaffenheit der äußeren Schicht ihrer Zellwände zu regelmäßigen Polstern zusammengehalten werden, oder flache, ründliche Scheiben formen, welche einer Unterlage angeschmiegt am Rande fortwachsen. Jede Zelle besitzt einen Zellkern und eine grüne Chlorophyllplatte. Eine Besonderheit der Gattung besteht darin, daß einzelne Zellen eigentümliche, am Grunde mit einer Scheide versehene Borsten tragen. Die vegetative Vermehrung wird durch birnförmige mit zwei Zilien ausgestattete Schwärmsporen bewirkt, die während des Sommers einzeln in vegetativen Zellen zur Entwicklung kommen und zur Ausbreitung der Arten wie zur Vermehrung der Individuenzahl reichlich beitragen. Im Herbst hört bei den einheimischen Arten die Schwärmerbildung auf, und es beginnt die Ausbildung von Geschlechtsorganen. Dieselben sind als Antheridien und Oogonien deutlich in ihrer Gestalt verschieden. Am Ende einzelner Zelläste treten Gruppen kleiner farbloser Zellen auf, die aus der sie tragenden grünen Fadenzelle durch Teilung hervorgegangen sind. Bei dieser Teilung wird auch der Zellkern regelmäßig in der normalen Weise geteilt, so daß die farblosen Zellen genau die gleiche Kernstruktur besitzen wie alle übrigen Zellen des Sängkörpers. Nur der Farbstoff fehlt ihnen, da bei dem Zellteilungsvorgang die grüne Chlorophyll-

platte der Traggzelle unbeteiligt bleibt. Diese farblosen Zellen sind Antheridien. Ihr Inhalt, der durch einen Riß in der Antheridienwand befreit wird, bildet ein birnförmiges Spermatozoid mit zwei Zilien. Die Ogonien gehen aus der Endzelle kurzer Äste hervor. Sie verlängern sich an ihrer Spitze in einen ziemlich langen, schmalen, zylindrischen Fortsatz, der mit

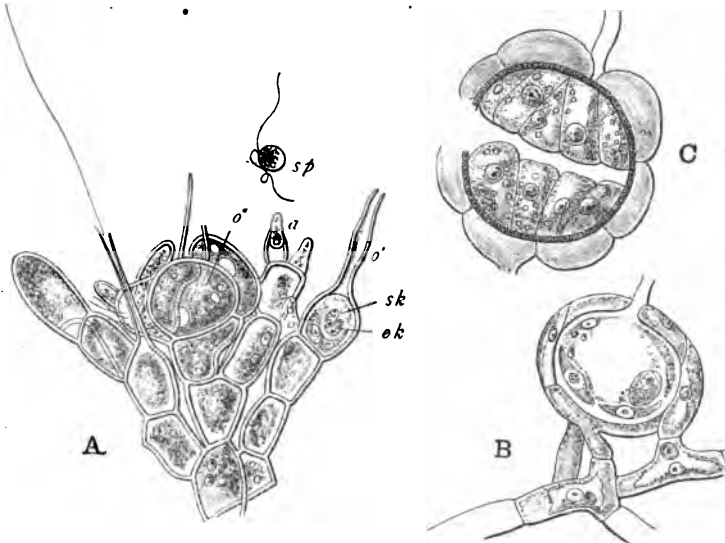


Abb. 10. Fortpflanzung von Coleochaete, stark vergrößert (nach Pringsheim). A Ein Stück des Vegetationskörpers der Alge mit Ogonien o, o' und Antheridien a. sp ein Spermatozoid. In dem Ogonium o' ist neben dem Eikern ek noch der Kern des durch den Halsfortsatz eingedrungenen Spermatozoids, sk sichtbar. B Befruchtetes Ogonium mit den Verindungsästen. C Gekeimte Zoospore; der Inhalt hat sich in 8 einkernige Zellen geteilt.

farblosem Protoplasma erfüllt ist. Dadurch erhält das Ogonium die Gestalt einer langhalsigen Flasche, in deren Bauch eine Chlorophyllplatte neben dem Zellkern im Protoplasma eingebettet ist. Der Vergleich mit der Flasche gewinnt noch dadurch, daß zu der Zeit, wenn die den Inhalt des Ogoniums bildende Eizelle befruchtungsreif geworden ist, die Spitze des

halsförmigen Oogonienfortsatzes durch Verquellung der Zellwand geöffnet wird. Durch den geöffneten Hals dringt ein Spermatozoid in die Eizelle ein und führt damit die Befruchtung aus. Sobald das Spermatozoid bis in den Bauchteil des Oogoniums hinabgerückt ist, bildet die Eizelle eine Zellwand aus, durch welche ihr Körper gegen den der Zerstörung anheimfallenden Hals abgegrenzt wird. Die so gebildete Oospore wächst noch beträchtlich heran und füllt sich mit Reservennahrung und gleichzeitig wachsen aus den dem Oogonium benachbarten vegetativen Zellen seitliche Zellfäden hervor, die sich dicht an das Oogonium anschmiegen und es mit einer ringsum dicht geschlossenen Rinde umhüllen. Im Schutz dieser Hülle verdickt sich die Zellwand der Oospore zu einer derben braunen Schale. Wenn dann während des Winters die Pflanze abstirbt und zugrunde geht, so gelangen die braunen Oosporen am Grunde der Gewässer in den Schlamm, wo sie frostfrei überwintern. Im ersten Frühling, wenn die zunehmende Sonnenwärme das letzte Eis auftaut und die Temperatur des Wassers hebt, beginnt in der ruhenden Oospore ein neuer Entwicklungsvorgang. Der Zellkern teilt sich wiederholt und die Oospore wird nach der Zahl der jungen Kerne in 16 bis 32 einkernige Zellen zerlegt. Darauf wird die braune Außenwand der Oospore nebst der sie bedeckenden Schicht von Verindungszellen gesprengt und der Inhalt der jungen Zellen tritt in Gestalt von Schwärmzellen hervor, die wie die vegetativen Schwärmer birnförmig und mit zwei Zilien versehen sind und durch eine Chlorophyllplatte in ihrem Plasma am stumpfen Hinterende grün gefärbt sind. Diese aus der Oospore entstandenen Schwärmer setzen sich nach einigem Umherirren an einer für die Entwicklung der Pflanze geeigneten Unterlage fest, umgeben sich mit einer Zellohaut und wachsen unter fortgesetzter Kern- und Zellteilung zu einem Verzweigungssystem aus, von dem aus alsbald wieder neue vegetative Schwärmer die Weiterverbreitung der Pflanzen während der warmen Jahreszeit vermitteln.

Der Fortschritt, den Coleochaete gegenüber der Aphanochaete in Beziehung auf die Ausbildung ihrer Geschlechtsorgane aufweist, ist ein doppelter. Die männlichen Gameten sind nicht nur wie die von Aphanochaete kleiner als die weiblichen, sie sind auch in bezug auf ihren inneren Bau vereinfacht, dadurch daß ihnen ein für das vegetative Leben sehr wichtiges Organ, der

Chlorophyllkörper fehlt. Wir ersehen daraus, daß dieser Teil des lebenden Zellinhaltes für den Vorgang der Befruchtung bedeutungslos ist. Die weiblichen Gameten der *Coleochaete* bilden von anfang an ein ruhendes Ei, das im Schutz der Mutterzellwand verharret und dort die Empfängnis erwartet. Die Gestaltung des Oogoniums, die Ausbildung eines sich öffnenden Halses ermöglicht und erleichtert diesen Vorgang. Im Zusammenhang mit dem Verhalten des Eies und des Oogoniums sehen wir andere Teile der Mutterpflanze, die mit der Eibildung nicht in direktem Zusammenhang stehen, zur Sicherung des Fortpflanzungsprozesses herangezogen werden, die Verbindungszellen, welche die reifende Oospore umwachsen.

Nachdem wir nunmehr die Stufenleiter von der Verschmelzung zweier gleicher Gameten im Wasser bis zur Ausbildung der Spermatozoiden und des auch nach der Befruchtung im Zusammenhang mit der Mutterpflanze bleibenden ruhenden Eies an einigen Beispielen kennen gelernt haben, werden wir uns die Frage vorlegen müssen: wie läßt sich unsere aus den Vorgängen bei der vegetativen Vermehrung abgeleitete Vorstellung, daß die Chromosomen des Zellkerns die Träger der erblichen Eigenschaften seien, mit diesen neuen Tatsachen vereinigen.

Das auffälligste Moment bildet die Tatsache, daß bei der geschlechtlichen Fortpflanzung zwei Zellkerne an der Bildung der Erbmasse beteiligt sind. Diese beiden Kerne entstammen, wenn nicht demselben Pflanzenindividuum, so doch derselben Pflanzenart. Sie besitzen also die gleiche Chromosomenzahl und wenn auch geringe individuelle Verschiedenheiten in der Konstruktion angenommen werden müssen, so muß doch in den Grundzügen auch der feinere Bau ihrer Chromosomen ein ähnlicher sein. Soweit man bei der Zellverschmelzung in dem Befruchtungsvorgang das Verhalten der beiden Kerne der Geschlechtszellen hat verfolgen können, hat sich herausgestellt, daß die Kerne sich früher oder später in der Zygote oder Oospore zu einem einzigen Kern vereinigen. Dabei lösen sich zunächst beide Kerne ähnlich wie bei dem Kernteilungsvorgang in ihre Chromosomen auf, die Chromosomen verschiedenen Ursprungs legen sich paarweise aneinander und die ganze doppelte Chromosomenmasse wird dann zu Kerngerüst des neuen Kerns.

Wir können das kurz in dem Satz ausdrücken: Spermakern und Eikern verschmelzen zum Keimkern.

Der Kern der Zelle, aus der die Nachkommenschaft hervorgehen soll, besitzt also die doppelte Zahl der Chromosomen. Wenn Spermatozoid und Ei von verschiedenen Individuen abstammten, so enthält die vom Keimkern repräsentierte Erbmasse zugleich die materiellen Träger der Eigenschaften der väterlichen, wie der mütterlichen Pflanze.

Die Vereinigung der chromatischen Elemente der beiden Geschlechtskerne in dem Keimkern ist indes nur eine vorübergehende. Wenn die Keimung der Zygote oder der Oospore eingeleitet wird, so verläuft die erste Teilung des Keimkerns nicht in der typischen Weise, die wir im ersten Abschnitt kennen gelernt haben. Man spricht deshalb hier von einer heterotypischen Kernteilung. Das Wesen dieses Vorganges beruht darin, daß durch ihn die bei der Kernverschmelzung vereinigten Chromosomen der Geschlechtszellen wieder voneinander getrennt und auf zwei Kerne mit einfacher Chromosomenzahl verteilt werden. Der Vorgang ist bei der Kleinheit der zu studierenden Objekte und bei der Komplikation, die durch die zeitweilige Verschmelzung der Chromosomenpaare zu scheinbar einfachen Fadestücken gegeben ist, außerordentlich schwer zu beobachten. Die bedeutendsten Mikroskopiker sind lange Zeit über die Deutung der einzelnen Phasen des Prozesses in Zweifel gewesen und auch heute noch bleiben manche Einzelheiten der heterotypischen Kernteilung umstritten. Daß aber durch diese heterotypische Kernteilung die doppelte Chromosomenzahl auf die einfache Zahl zurückgeführt wird, das dürfen wir als eine von der Theorie geforderte Tatsache ansehen, die durch die direkte Beobachtung ihre Bestätigung gefunden hat. Wir können uns den Vorgang bei der heterotypischen Kernteilung im allgemeinen in folgender Weise vorstellen. Es treten an dem ruhenden Kern einige Vorphasen auf, unter denen eine Zusammenballung des Kerngerüsts, die als Synapsis bezeichnet wird, besonders die Aufmerksamkeit der Beobachter auf sich gezogen hat und als eine charakteristische Eigentümlichkeit der heterotypischen Kernteilung gedeutet worden ist. Das ganze Kerngerüst liegt dabei der einen Kernwand genähert, so daß ein größerer Teil des Kernraumes gerüstfrei erscheint. Nach der Synapsis wandelt sich das Kerngerüst in einen Doppelfaden um, und dieser

verschmilzt zu einem einfachen faden, welcher ein lockeres Knäuel im Kernraum bildet. Die Doppelnatur des Fadens, die vorübergehend unsichtbar geworden war, tritt bald wieder deutlich hervor, und es beginnt dann der Zerfall desselben in

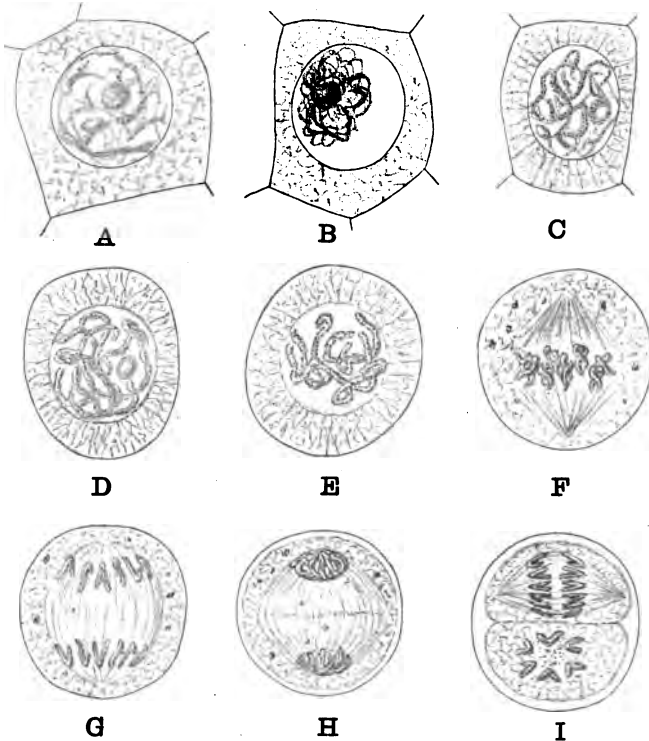


Abb. 11. Zellen, deren Keime die aufeinanderfolgenden Phasen der heterotypischen und den Beginn der homöotypischen Kernteilung zeigen. A Vorstadium. B Synapsis. C Fadentnäuel aus den vereinigten Doppelfäden. D Wiederauftreten des Doppelfadens. E Zerteilung desselben in Chromosomen. F Kernspindel mit paarweise genähten Chromosomen in der Äquatorialplatte. G Auseinanderrücken der Chromosomenpaarlinge. H Bildung der Tochterkerne aus den bereits gespaltenen Chromosomen. I Teilung der Tochterkerne unter Verteilung der Spaltstücke der Chromosomen auf vier Enkelkerne. In der oberen Tochterzelle ist die Kernfigur von der Seite gesehen; in der unteren dagegen von einem Polende.

Doppelfadenstücke, die sich rings im Kernraume der Kernwand genähert verteilen. Von dem Protoplasma aus beginnt nun die Ausbildung der Fasern, die, während die Kernmembran verschwindet, auch in das Innere des Kernraumes vordringen und endlich mit den in der Äquatorialebene zur Kernplatte zusammentretenden Doppelchromosomen die Kernspindel bilden. Während nun bei der typischen Kernteilung die Längsspaltung der Chromosomen eintritt, bleiben hier die einzelnen Chromosomen zunächst ungeteilt. Es trennen sich aber die in den Doppelchromosomen zu Paaren vereinigten Chromosomen der Kernplatte von einander und je ein Glied eines Paares rückt dem einen Polende, je das andere dem andern Polende der Spindel zu. Auf diese Weise wird die Reduktionsteilung bewirkt, es sammelt sich also an jedem der beiden Pole die Hälfte der Chromosomen an, und die beiden Tochterkerne, die damit angelegt werden, erhalten demnach wieder dieselbe Chromosomenzahl, die den Geschlechtszellen vor der Verschmelzung eigen war.

Während die nunmehr wieder getrennten Einzelchromosomen gegen die Pole der Kernspindel auseinander rücken, wird an ihnen die vorher unterbliebene Längsspaltung bemerkbar, die beide Spaltstücke des einzelnen Chromosoms trennen sich aber nicht voneinander, sondern treten als Paar in das Kerngerüst des Tochterkerns ein, dessen Bildung sich nach der Ansammlung der chromatischen Elemente in der normalen Weise wie bei der typischen Kernteilung abspielt.

In der Regel folgt auf die heterotypische Kernteilung unmittelbar ein zweiter Kernteilungsschritt, der sich von der typischen Teilung dadurch unterscheidet, daß die bereits in den letzten Phasen der vorhergehenden Teilung längsgepaltenen Chromosomen in diesem Zustande in die Kernteilungsfigur eintreten, sodaß also die normal erst in der Kernplatte vor sich gehende Längsteilung der Chromosomen vorweggenommen ist, und die Zellhälften direkt zur Bildung des Gerüsts der Entelkerne an die Polenden der Kernspindel rücken können. Um auch diese zweite Form der Kernteilung in ihrer Besonderheit von der typischen durch die Benennung zu unterscheiden, hat man sie als homöotypische Kernteilung bezeichnet.

Durch die heterotypische und homöotypische Kernteilung gehen also aus dem mit der doppelten Chromosomenzahl ver-

versehenen Kern der Zygote oder Oospore vier Kerne hervor, welche nach Zahl und Bau der Chromosomen mit den Kernen der vegetativen Zellen übereinstimmen. Die vier Zellen, welche diese Kerne einschließen, werden also auch dieselben Befähigungen und Entwicklungsmöglichkeiten übernommen haben, die den vegetativen Zellen und den etwa aus ihnen hervorgehenden vegetativen Fortpflanzungszellen inne wohnen. Die auf dem Umwege über Zell- und Kernverschmelzung und Reduktionsteilung von den Zellen der Mutterpflanze abgeleiteten Fortpflanzungszellen erscheinen demnach infolge ihrer inneren Organisation nicht minder geeignet die erblichen Eigenschaften der Mutterpflanzen aus sich zu reproduzieren, als diejenigen vegetativen Fortpflanzungszellen, deren Kern direkt durch eine typische Teilung von dem Kern einer Zelle der Mutterpflanze abgeleitet ist.

Für Coleochaete ist der Vorgang der Reduktionsteilung direkt beobachtet und nachgewiesen worden. Wir werden kaum fehlgehen in der Annahme, daß er auch der Schwärmsporenbildung in den Zygoten von Pandorina und Clostrix vorausgeht und daß auch bei Spirogyra und überhaupt in allen ähnlichen Fällen der Doppelkern der durch die Befruchtung entstandenen Fortpflanzungszelle eine Reduktionsteilung durchzumachen hat, bevor vegetative Zellen der Nachkommenschaft gebildet werden. Jedenfalls ist sicher, daß die mit dem Befruchtungsvorgang verbundene Zellverschmelzung in allen diesen Fällen nicht zu einer fortgesetzten Steigerung der Chromosomenzahl im einzelnen Kern führt, sondern daß auch hier die Nachkommen im Kern ihrer vegetativen Zellen nur die gleiche Chromosomenzahl aufweisen wie die Elternpflanzen.

Nachdem sich herausgestellt hat, daß die Vermehrung der Chromosomenzahl in dem Kern der Keimzellen nur ein vorübergehender Zustand ist, daß die Erbmasse, welche hier für das einzelne Individuum der Nachkommenschaft in Betracht kommt, die gleiche Natur besitzt, wie die Erbmasse, welche in einer ohne Befruchtung entstandenen, vegetativen Fortpflanzungszelle vorhanden ist, drängt sich uns die Frage auf, welche Bedeutung denn überhaupt dem Befruchtungsvorgang für die Vererbung der Eigenschaften innewohnt. Eine kurze, klare und festbegründete Antwort auf diese Frage gibt es bis jetzt noch nicht; wir

müssen uns mit Vermutungen begnügen, die sich auf die durch die direkte Beobachtung klargestellten Tatsachen stützen.

Wir sehen in allen Fällen, in denen eine Zellenverschmelzung zustande kommt, die zur Vereinigung bestimmten Zellen zweckmäßige Bewegungen ausführen, durch welche die Zellen einander bis zur Berührung genähert werden. Wir können das auch so ausdrücken: Die Gameten üben aufeinander eine Anziehungskraft aus. In einigen wenigen Fällen hat man direkt nachweisen können, daß die Fernwirkung der Gameten aufeinander auf einer stofflichen Verschiedenheit beruht, daß die eine der Zellen Substanzen in das Wasser abgibt, deren Vorhandensein und deren Konzentrationsgrad die Bewegungsrichtung der anderen bestimmt. Diese Art der Fernwirkung durch im Wasser gelöste und ungleich verteilte Substanzen ist durchaus nicht auf die Gameten beschränkt, sie ist in zahlreichen Fällen zu beobachten. Selbstbewegliche Bakterien, welche des Sauerstoffs bedürfen, häufen sich an der freien Oberfläche der von ihnen bewohnten Flüssigkeit an, da dort im Austausch mit der berührenden Atmosphäre die größte Konzentration des Sauerstoffes in der Flüssigkeit vorhanden ist. Schwärmsporen gewisser im Wasser lebenden Pilze sammeln sich an dem Körper einer toten Fliege, die ins Wasser geworfen wird. Durch Darbietung gewisser chemischer Substanzen in starker Verdünnung kann man die Keimfäden von Pilzen veranlassen, zu feinen Öffnungen hin zu wachsen, durch welche die anlockende Substanz zu ihnen gelangt. Es hat deshalb kein Bedenken, die Anziehung zwischen den Gameten auch in den Fällen, in welchen ein direkter Nachweis bisher nicht erbracht worden, dadurch zu erklären, daß von dem einem der Gameten ein Stoff in das Wasser abgegeben wird, dessen geringste Spuren den anderen veranlassen, seine Bewegungsrichtung gegen die Ursprungsstelle des Stoffes hin zu nehmen. Diese Erklärung setzt aber eine, wenn auch noch so geringe stoffliche Verschiedenheit der beiden Gameten voraus, selbst in denjenigen Fällen, in denen die beiden Gameten an Gestalt und Größe einander gleich zu sein scheinen. Als die bewirkende Ursache für die Zellverschmelzung hätten wir demnach eine innere Verschiedenheit stofflicher Natur anzusehen.

Alle Zellen einer Pflanze stammen von einer Zelle ab und und alle in einem Verbande lebenden Individuen einer Pflanze-

art können als die Nachkommen eines gemeinsamen Urahren angesehen werden. Wenn nun bei der Zellteilung jedesmal die beiden neugebildeten Zellen unter sich genau gleich und auch genau gleich der Mutterzelle werden, so ist nicht einzusehen, wie endlich eine stoffliche Verschiedenheit in den Geschlechtszellen zustande kommen sollte. Wir haben aber folgendes zu erwägen. Die Tochterzellen sind wohl nach ihrer inneren Organisation unter sich gleich und gleich der Mutterzelle vor der Teilung. Der Masse nach bildet aber jede Tochterzelle nur die Hälfte der Mutterzelle. Der Körper der Tochterzellen muß erst heranwachsen, bis er an Masse gleich der Mutterzelle wird; d. h. es müssen von außen her neue Bausteine in das organische Gefüge der Zellsubstanz eingepaßt werden. Und wenn die Zelle ihr Gefüge und damit ihre Eigenschaften in nichts verändern soll, so müßte immer das gleiche Baumaterial zur Verfügung stehen. Die Ernährung der Pflanzen, auf welcher die Beschaffung dieses Baumaterials beruht, ist in tiefgreifender Weise von äußeren Umständen abhängig. Die Menge und Zusammensetzung der in der Umgebung dargebotenen Nährstoffe, die Wasserzufuhr, die Schwankungen des Lichts und der Wärme können die Nahrungsbildung im Pflanzenkörper nicht nur der Menge nach, sondern auch der Beschaffenheit nach beeinflussen. So mag es erklärlich erscheinen, daß in der langen Reihe aufeinanderfolgender Teilungen und daran anschließender Wachstumsvorgänge, die die Zellsubstanz im vegetativen Leben einer Pflanze durchzumachen hat, hier und da einmal nicht der rechte Baustein zur Verfügung steht, der in die Organisation einer wachsenden Zelle eingefügt werden sollte, und daß an seine Stelle wohl ein ähnlicher, aber doch nicht ganz genau gleicher Baustein tritt. Auf diese Weise können auch bei so einfach gebauten Pflanzen, wie *Pandorina* und *Ulothrix* es sind, in den verschiedenen Nachkommenreihen der ersten Zelle kleine Bildungsabweichungen auftreten, die sich summierend in den Endzellen der Reihen wahrnehmbare Größe erlangen.

Daß die Entscheidung, ob von einer Pflanze Gameten oder ungeschlechtliche Fortpflanzungszellen gebildet werden, in manchen Fällen von Ernährungsbedingungen direkt abhängig ist, konnte durch Versuche nachgewiesen werden. Wenn die Entstehung der Geschlechtsorgane wie bei *Coleochaete* regelmäßig in einer bestimmten Jahreszeit erfolgt, so ergibt sich auch daraus der

Schluß, daß der Anstoß zu dieser Umbildung der Natur gewisser Zellen von äußeren Umständen ausgeht.

Noch bedeutsamer werden die Verschiedenheiten sein, die bei weniger einfach gebauten Formen dadurch zustande kommen, daß die Nachbarzellen des Verbandes in verschiedener Weise aufeinander einwirken. Schon die gegenseitige Lage kann die Ernährung und das Wachstum in den einzelnen Zellen ungleichmäßig werden lassen und dadurch Verschiedenheiten des inneren Baues und des Entwicklungsganges herbeiführen. Mehr noch werden die mechanischen, physikalischen und chemischen Wechselbeziehungen, die zwischen den Inhaltskörpern der Nachbarzellen bestehen, den Entwicklungsgang der einzelnen Zellen in besondere Bahnen lenken. Und durch die damit eingeleiteten Organisationsänderungen der Zellen werden auch die Entwicklungsmöglichkeiten der einzelnen Zellen gegenüber der ersten Zelle, aus der die Pflanze erwachsen ist, beeinflusst werden müssen.

Die abweichende Gestalt, der anders zusammengesetzte Inhalt der Zellen macht das in einigen Fällen auch äußerlich erkennbar. So finden wir in dem einfachen Vegetationskörper der *Alphanochaete* bereits wesentlich verschiedene Zellformen vor. In der Mitte des Hauptfadens und am Grunde der Äste finden wir die Zellen größer und dunkler gefärbt als an den Enden der Zellreihen. Im Zusammenhang mit der ungleichen Verteilung des Chlorophyllfarbstoffes steht eine ungleiche Ernährung der ungleich gefärbten Zellen. Die großen, dunkler grünen Zellen speichern reichlich Stärke und Öl auf, die in den schwächer gefärbten Endzellen nur spärlich vorhanden sind.

Wie bei dieser ungleichen Ausbildung der Zellen die Entwicklungsmöglichkeiten einzelner Zellen beträchtlich verringert werden können, das zeigen uns die Haarzellen der *Alphanochaete*, die ganz ohne Chlorophyllkörper sind und die keine weiteren Zellteilungen mehr erfahren.

Wir müssen wohl annehmen, daß auch die Geschlechtszellen, die Spermatozoiden und Eizellen solche in ihren Entwicklungsmöglichkeiten beeinträchtigte Zellen sind; denn normaler Weise sind ja dieselben nicht befähigt, gewöhnliche vegetative Zellen aus sich hervorgehen zu lassen. Ihre Abweichung von den vegetativen Zellen geht aber nach zwei verschiedenen Richtungen auseinander. Die Spermatozoiden von *Coleochaete* z. B. enthalten keinen Chlorophyllkörper, und keine oder nur wenige

Reservenahrung, während die Eizellen mit beiden versehen sind. Den letzteren fehlt dafür, wenn sie sich selber überlassen bleiben, die Möglichkeit, diese Reserve zum Ausbau des lebenden Plasma-leibes zu verarbeiten, während wohl im Spermatozoid diese Möglichkeit gegeben sein kann. Vereinigen sich nun zwei solche nach verschiedenen Richtungen in ihren Entwicklungsmöglichkeiten beschränkte Zellen zu einer einzigen, so bekommt damit die Doppelzelle alle Eigenschaften, die in den Gameten getrennt waren, zurück und es können aus ihr durch Teilung zwei gleiche Zellen hervorgehen, die den Chlorophyllapparat zur selbständigen Ernährung, den Nährstoffvorrat zu den ersten Entwicklungsschritten und die Fähigkeit, diesen Vorrat für den Aufbau der lebenden Substanz zu verarbeiten, in sich vereinigen.

Die Verschiedenheit in der Organisation der Geschlechtszellen werden sich nun nicht allein auf äußerliche Bauverhältnisse wie Chlorophyll und Nährstoffgehalt, beziehen. Die Feinheit der Organisation des Zellkernes läßt uns vielmehr vermuten, daß sich gerade hier die kleinen unausbleiblichen Strukturabweichungen bei dem Wachstum der Substanz am ersten bemerkbar machen werden. Und diese Abweichungen von der Norm werden für das Leben der Zellen von um so einschneidender Bedeutung sein, als ja die Keimsubstanz bei der Regulierung des Entwicklungsganges, der Formgestaltung und des inneren Ausbaues des Zelleibes in besonderer Weise beteiligt ist. Die bei dem Befruchtungsvorgang eintretende Kernverschmelzung scheint geeignet zwischen den Verschiedenheiten der beiden Gametenkerne einen Ausgleich herbeizuführen. Das Kerngerüst des mit der doppelten Chromosomenzahl ausgestatteten Keimkernes entwickelt sich, wie oben gezeigt wurde, bei der beginnenden Teilung aus dem in der Synapsis erreichten Knäuelstadium zu einem Doppelfaden, in dem die entsprechenden Chromosomen des väterlichen und des mütterlichen Kernes nebeneinander liegen. Die Verschmelzung des Doppelfadens zu einem einheitlichen Strang bringt die Mischung zuwege, die den Ausgleich der Eigenschaften in den Chromosomen ermöglicht. Wenn dann der Strang sich aufs neue zum Doppelfaden spaltet, so trennen sich dabei die Chromosomen in gleiche Teilstücke. So wenigstens können wir diesen Vorgang unbedenklich deuten. Die bei der Reduktionsteilung entstehenden Zellen, die von jedem der Chromosomzwillingspaare ein Glied in ihren Kern auf-

nehmen, sind also dann auch in Bezug auf die innere Struktur ihrer Kerne einander wieder ähnlich geworden und da die im Laufe der vegetativen Entwicklung erworbenen Abweichungen von dem Kern der Mutterpflanzen im wesentlichen ausgeglichen worden sind, auch diesem ähnlich.

Den Nutzen, den die Befruchtung für die Pflanzen der bisher geschilderten Entwicklungsstufe im Gefolge hat, dürfen wir darin sehen, daß die infolge einseitiger Abweichung von dem typischen Zellbau der Art ihrer Entwicklungsfähigkeit beraubten Geschlechtszellen durch Ausgleichung ihrer Verschiedenheiten aufs neue entwicklungsfähig werden, und ferner darin, daß bei dem stattfindenden Ausgleich der Zelleigenschaften die Zellen, aus denen die Nachkommenschaft hervorgehen soll, in ihrer inneren Organisation wieder der Zelle ähnlich werden, aus der sich die Mutterpflanze entwickelt hat. Für die Vererbung ist dieser letztere Umstand von besonderer Bedeutung. Er erklärt uns die Beständigkeit, mit der die Eigenschaften, welche eine Art charakterisieren, in den Nachkommenreihen erhalten bleiben, obwohl im vegetativen Leben des einzelnen Individuums eine weitgehende Differenzierung unter den Zellen zustande kommt, die der Arbeitsteilung zwischen den Zellen und Zellgeweben dient. Die Befruchtung ist ein Regenerationsvorgang, welcher den für die Fortentwicklung bestimmten Zellen ihren im vegetativen Leben veränderten spezifischen Charakter zurückgibt und ihre verringerten Entwicklungsmöglichkeiten auf dieselbe Stufe erhebt, die bei der Entstehung der Mutterpflanze vorhanden war.

Kapitel III.

Der Befruchtungsvorgang bei Moosen und Farnen mit einerlei Sporen.

Bei den Algen, deren geschlechtliche Fortpflanzung wir in dem vorigen Kapitel kennen gelernt haben, folgte auf den Befruchtungsvorgang als nächster Entwicklungsschritt die Keimung, auf die Zell- und Kernverschmelzung die Reduktionsteilung. Die Zahl der Chromosomen, die durch die Verschmelzung zweier Gametenkerne im Keimkern verdoppelt worden war, wird als-

bald wieder auf die einfache Zahl zurückgeführt. Nur ein einziger Kern ist es somit im gesamten Entwicklungsgange dieser Pflanzen, von Generation zu Generation, der die doppelte Chromosomenzahl besitzt. Schon im Reiche der Algen und Pilze, noch ausgesprochener aber bei den höheren Pflanzen finden wir den Fall, daß die Doppelnatur des Keimkernes in seinen Abkömmlingen nicht alsbald wieder verloren geht, sondern durch eine ganze kürzere oder längere Entwicklungsphase hindurch allen aus der Keimzelle durch Teilung entstehenden Zellen mitgeteilt wird. Der mit der doppelten Chromosomenzahl ausgestattete Kern der Keimzelle und ihre Abkömmlinge erfahren zunächst typische Kernteilungen, bei denen die Spalthälften der in doppelter Zahl vorhandenen Chromosomen auf die Tochterzellen übertragen werden.

Das Gebilde, welches sich aus den mit doppelter Chromosomenzahl versehenen Abkömmlingen der Keimzellen zusammensetzt, weicht in seiner Formgestaltung und in seinem Entwicklungsgange von dem Vegetationskörper der Pflanzen, deren verschmelzende Gameten die Keimzelle geliefert haben, beträchtlich ab; es stellt gewissermaßen eine Zwischengeneration dar, die zwischen der mit Geschlechtsorganen versehenen Pflanze und ihren an Gestalt und Wesen ihr ähnlichen Nachkommen eingeschaltet ist. Erst nachdem diese Zwischengeneration eine gewisse Entwicklungshöhe erreicht hat, treten in bestimmten Zellen die Reduktionsteilungen auf, aus welcher die Zellen mit einfacher Chromosomenzahl hervorgehen, die den Anfang junger, der Geschlechtspflanze ähnlicher Nachkommen bilden können. Wir können die Zahl der Chromosomen in den Zellen der Geschlechtspflanze mit dem bei den Mathematikern zur Bezeichnung unbestimmter Zahlen gebräuchlichen Buchstaben x bezeichnen, um damit anzudeuten, daß diese Zahl an sich unbestimmt, aber für alle Zellen eines Pflanzenindividuums die gleiche ist. Die Zellen der Zwischengeneration besitzen dann in den Kernen aller Zellen bis zu dem Augenblick, wo in einigen derselben die Reduktionsteilung eintritt, $2x$ Chromosomen. Danach kann man die Geschlechtspflanzen, welche die Gameten liefern, als die x -Generation — die Zwischengeneration, welche mit dem befruchteten Ei ihre Entwicklung anhebt, als die $2x$ -Generation bezeichnen. Eine andere Bezeichnungsweise leitet man davon ab, daß die Zwischengeneration keine

Geschlechtsorgane bildet, sondern einfach durch Wachstums- und Zellteilungsvorgänge Fortpflanzungszellen liefert, welche den Sporen vergleichbar sind, die wir als Träger der vegetativen Vermehrung bei den niederen Pflanzen kennen gelernt haben. Danach stellt man wohl die 2x-Generation als Sporenpflanze der x-Generation als der Geschlechtspflanze gegenüber.

In den einfachsten Fällen ist die 2x-Generation nur ein wenigzelliger Körper, an dem nach kurzem Entwicklungsgange durch die Reduktionsteilung die Sporen gebildet werden. Je höher wir aber in der Stufenleiter des Gewächsreiches nach aufwärts steigen, desto komplizierter wird der Bau der Sporenpflanze und desto bestimmter entwickelt sich dieselbe zu einem selbständigen von der Geschlechtspflanze unabhängigen Gebilde, — desto mehr tritt ihr gegenüber die Geschlechtspflanze in ihrer Bedeutung für das vegetative Leben in den Hintergrund. Die Bedeutung des Befruchtungsvorganges für die Vererbung wird dadurch allmählich vollständig verschoben.

Es wird nunmehr unsere Aufgabe sein, diese Umwertung der Werte im Pflanzenleben an praktischen Beispielen zu studieren und ich will dabei die Beispiele derart auswählen und gruppieren, daß wir allmählich vom Einfachen zum Komplizierteren emporgeführt werden.

Unter den Lebermoosen existiert auch in unserer einheimischen Flora eine Gruppe einfachster Formen, die Gattung *Riccia*, deren Vegetationskörper aus einem bisweilen nur wenige Millimeter langen grünen Schüppchen besteht, welches dem Erdboden angeschmiegt wächst, an den es mit Haarwurzeln befestigt ist, die seiner Unterseite entspringen. Das Schüppchen wächst mit einem Vegetationspunkt an seiner Spitze; gelegentlich tritt durch Teilung des Vegetationspunktes eine Verzweigung in zwei fortwachsende Gabeläste ein. Die Geschlechtsorgane werden an dem Pflänzchen in der Nähe des Vegetationspunktes auf der Oberseite des Schüppchens angelegt. Durch üppige Entwicklung des vegetativen Gewebes wird jedes angelegte Geschlechtsorgan bald rings umwallt und überwachsen, so daß die heranwachsenden Geschlechtsorgane in taschenförmigen Gruben der Oberseite des laubigen Schüppchens versenkt erscheinen.

Wir haben hier wiederum zweierlei Geschlechtsorgane zu unterscheiden, männliche und weibliche. Die ersteren werden wie bei den Algen Anthridien genannt. Sie stehen im aus-

gewachsenen Zustande als kleine keulenförmige Zellkörper im Grunde einer durch die Überwallung des vegetativen Zellgewebes gebildeten Grube. Bei der Reife bilden sie einen Sack oder einen ringsum abgeschlossenen Schlauch, dessen Wand aus einer einfachen Schicht von lückenlos verbundenen Zellen besteht. Im Innern des Sackes liegen dicht gefügt zahlreiche kleine würfelförmige Zellen, die wir als Spermatozoidmutter-

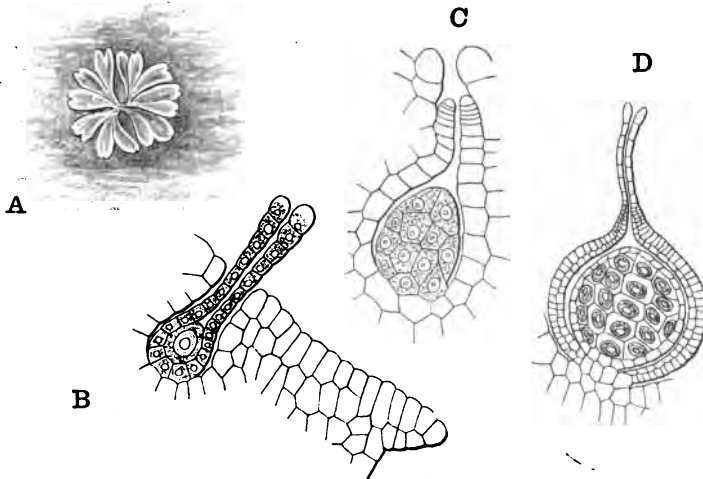


Abb. 12. Das Lebermoos Riccia. A. Vegetationskörper schwach vergrößert. B. Schnitt durch den Vegetationskörper, der ein bereits geöffnetes Archegonium getroffen hat. C. Desgleichen mit einem in einer Grube versenkten Antheridium. D. Längsschnitt eines Archegoniums, in dessen erweiterten Bauchteil ein junges Sporogonium eingeschlossen ist. B—D stark vergrößert.

zellen bezeichnen können, da ihr lebender Inhalt je einen männlichen Gameten in Gestalt eines mit zwei Zilien versehenen Spermatozoids liefert.

An anderen Stellen des Riccialaubes treffen wir ebenfalls in Gruben versenkt die weiblichen Geschlechtsorgane an. Auch sie bestehen aus einem mehrzelligen Körper und werden Archegonien genannt. In Beziehung auf seine Form können wir das Archegonium mit einer Flasche vergleichen. Ein fast kugeliges

angeschwollener Bauch geht oben in einen ziemlich langen schlanken Hals über. Der Archegonienbauch besteht aus einer einfachen Schicht oberflächlicher Wandzellen, in dem von ihnen umschlossenen Hohlraum liegt eine einzige größere Zelle, die den weiblichen Gameten, das Ei repräsentiert. Der Hals des Archegoniums besteht aus fünf Zellreihen, von denen vier die äußere Wand des Halses bilden, während die fünfte den Halskanal erfüllt.

Für den Befruchtungsvorgang ist Wasser nötig. Ein Tau- oder Regentropfen, der auf das Riccialaub gelangt, kann, wenn reife Antheridien und Archegonien vorhanden sind, den Prozeß auslösen. Im Wasser öffnet sich die Wand der reifen Antheridien und die Spermatozoiden treten hervor, um in lebhafter Bewegung den Tropfen nach allen Richtungen zu durch-eilen. Auch die Öffnung der reifen Archegonien wird durch das Wasser veranlaßt. Die den Halskanal ausfüllenden Zellen verquellen unter Wasseraufnahme zu einem farblosen Schleim, der durch den Druck von innen die vier obersten Zellen des Halses auseinanderdrängt und in das Wasser austritt. Dadurch ist ein freier Zugang durch den Halskanal zur Eizelle eröffnet. Der ins Wasser sich allmählich verbreitende Schleim enthält ein Lockmittel für die Spermatozoiden. Sobald sie in die Verbreitungssphäre des Schleimes gelangen, nehmen sie ihre Richtung direkt zu der Halsöffnung des Archegoniums, steuern sicher in den engen Halskanal und gelangen zu der Eizelle. Durch die Verschmelzung eines Spermatozoids mit der Eizelle wird die Befruchtung ausgeführt.

Bei *Alphanochaete* und *Coleochaete* sahen wir das befruchtete Ei zur Oospore werden, die sich in eine derbe Wand einhüllt und eine Ruheperiode durchmacht. Bei *Riccia* tritt eine solche Unterbrechung des Entwicklungsganges nicht ein, sondern die durch die Befruchtung zur Weiterbildung angeregte Keimzelle scheidet nach außen eine Zellwand ab und es tritt alsbald ein lebhaftes Wachstum und wiederholte Zellteilung ein. Bei diesen Teilungen verläuft die Kernteilung typisch, die Chromosomen spalten sich und jeder neue Kern empfängt dadurch die gleiche Anzahl von Chromosomen, die der Keimkern bei der Verschmelzung von Spermatozoiden und Eizern empfangen hatte, also $2x$, d. h. die doppelte Zahl von Chromosomen, die für die vegetativen Zellen des Riccialaubes charakteristisch sind.

Wir sehen demnach hier aus dem befruchteten Ei eine 2^x-Generation hervorgehen, deren wenigzelliges Anfangsstadium man als Embryo zu bezeichnen pflegt. Den Raum zu seinem Wachstum im Innern des Archegonienbauches gewinnt der Embryo dadurch, daß die Zellen der Bauchwand durch eigenes Wachstum den von ihnen umschlossenen Innenraum vergrößern.

Durch weiteres Wachstum bei gleichmäßig fortschreitender Zellvermehrung geht aus dem Embryo endlich ein als Sporogonium bezeichneter kugelförmiger Zellkomplex hervor, dessen Zellen die erste Andeutung einer Arbeitsteilung erkennen lassen. Die einfache Schicht von Zellen nämlich, welche an der Oberfläche der Kugel liegen, zeigt ein wesentlich anderes Verhalten als die Zellen, die das Innere der Kugel zusammensetzen. Die ersteren schließen mit dem Wachstum der Kugel ihre Entwicklung ab, sie erfüllen nur die Aufgabe, für den Zellkomplex im Innern der Kugel während der Entwicklungszeit eine schützende Hülle zu bilden und ihren Zellinhalt als Nahrungsmaterial für seine Weiterentwicklung darzubieten. Sie gehen deshalb später bald gänzlich zugrunde. Die Zellen im Innern dagegen werden zum Ausgangspunkt für die Erzeugung der Nachkommenschaft der Ricciapflanze. Wir bezeichnen sie in ihrer Gesamtheit als das sporogene Gewebe und die einzelne Zelle nach dem Aufhören der typischen Zellteilungen als Sporenmutterzelle.

In jeder Sporenmutterzelle muß, wie aus dem Entwicklungsgange sich ergibt, ein Kern mit doppelter Chromosomenzahl vorhanden sein. Bei seiner Teilung aber trennen sich die so lange von Kern zu Kern zu einem Kerngerüst verbundenen väterlichen und mütterlichen Chromosomen wieder von einander und verteilen sich auf die Kerne zweier Tochterzellen, so daß diese nur je die Hälfte der Chromosomen aufweisen, und auf diese heterotypische Teilung folgt alsbald und gleichzeitig an beiden Tochterkernen eine homotypische Teilung, welche die Spalthälften der Einzelchromosomen an je zwei Enkelkerne weitergibt. So sehen wir aus dem Kern jeder Sporenmutterzelle vier Enkelkerne mit einfacher Chromosomenzahl hervorgehen und mit einem feineren Bau, der von dem der Geschlechterkerne, die den Keimkern geliefert haben, nicht wesentlich verschieden sein kann.

Entsprechend der Zahl der gebildeten Kerne teilt sich der

Plasmaleib der Sporenmutterzelle in vier einkernige Zellen, die sich mit einer festen Zellhaut umgeben und zunächst reifende Sporen darstellen.

Da die Wandzellen des Sporogoniums während der Sporenbildung allmählich gänzlich zerfallen, so liegen die reifen Sporen schließlich frei in dem Hohlraum des Riccialaubes, welcher dem erweiterten Archegonienbauch entspricht. Wenn nun im Laufe der ungünstigen Jahreszeit das Gewebe des Riccialaubes absterbt und verwittert, so werden allmählich die Sporen frei und gelangen zur Ausfaat. Unter günstigen Umständen keimen sie, und es gehen aus ihnen neue Ricciapflänzchen hervor, die heranwachsend bald wieder Geschlechtsorgane bilden.

Gegenüber der Coleochaete erscheint der Fortschritt, den der Vorgang der geschlechtlichen Fortpflanzung bei Riccia aufweist, zunächst nur gering. Die eine mit 2x-Chromosomen versehene Keimzelle, welche dort direkt durch Reduktionsteilung die Sporenzellen liefert, hat hier die Befähigung sich typisch zu teilen und aus sich einen kugeligen Komplex von Zellen hervorgehen zu lassen, die zunächst in Beziehung auf ihre Kernstruktur alle samt der Keimzelle gleichartig erscheinen. Durch die inneren Wechselbeziehungen zwischen den Zellen wird in den oberflächlich gelegenen Zellen des kugeligen Verbandes die Organisation verändert, so daß diese Zellen die Keimnatur verlieren. Die inneren Zellen aber, deren Keimnatur durch das Zusammenleben im Verbands nicht beeinträchtigt wurde, erfahren dieselbe Entwicklung, welche die Keimzelle von Coleochaete direkt durchzumachen hat, und liefern dadurch die Sporen, die wie die Abkömmlinge des Coleochaetefeimes in bezug auf ihre Organisation sowohl unter sich als auch den Zellen, aus denen sich die geschlechtlichen Pflanzen der vorhergehenden Generation entwickelt haben, ähnlich sind. Auch in Beziehung auf die Bedeutung, welche der Befruchtungsvorgang für die Vererbung hat, ist kein wesentlicher Unterschied vorhanden. Die Verschmelzung des Spermatozoids mit dem Ei gibt hier wie dort die Anregung zu einer Weiterentwicklung, die der einzelnen Gametenzelle, Spermatozoid und Ei, unmöglich war. In den Teilungsschritten, die aus den Sporenmutterzellen die Sporen hervorgehen lassen, ist bei Riccia ebenso wie bei Coleochaete die Möglichkeit eines Ausgleiches der geringen Organisationsverschiedenheiten zwischen den väterlichen und mütterlichen Chromo-

somen gegeben. Vorteilhaft für die Sicherung der Vererbung erscheint es, daß die Vermehrung der Keimzellung durch Teilung der zuerst entstandenen die Möglichkeit zur Entstehung einer größeren Sporenzahl ergibt. Dieser Vorteil wird auch dadurch nicht beeinträchtigt, daß eine Anzahl der Abkömmlinge der Keimzelle als Wandzellen ihre Keimnatur einbüßen, um die normale Weiterentwicklung der übrigen zu sichern.

Die in dem Sporogonium von *Riccia* bereits angebahnte Arbeitsteilung zwischen den Zellen der 2x-Generation bildet den Ausgangspunkt für die Entstehung komplizierterer Formen, bei denen mehr und mehr von den Abkömmlingen der durch den Befruchtungsprozeß gebildeten Keimzelle ihre Keimnatur verlieren, um die fertilbleibenden Schwesterzellen mit Nährstoffen zu versorgen, um durch die Ausbildung einer Schutzdecke die Entwicklung der Sporen aus den Keimzellen zu sichern oder um Einrichtungen zu schaffen, durch welche eine günstige Aussaat der reifen Sporen herbeigeführt wird.

Das Lebermoos *Marchantia*, welches bereits im ersten Abschnitt wegen seiner Brutkörperchen Erwähnung gefunden hat, besitzt wie *Riccia* als Geschlechtsorgane Antheridien und Archegonien, die hier aber nicht auf dem Rücken der Laublappen in Gruben versenkt sind, sondern auf besonderen Ästen über das vegetative Laub emporgehoben werden. Die Äste, welche die Antheridien tragen, gleichen kleinen Pilzhüten mit schlankem Stiel. Der Hut ist grün gefärbt wie das Laub und am Rande zierlich gefeibt. Seine Oberfläche trägt in tiefen Gruben eine ziemlich große Anzahl von kurzgestielten keulenförmigen Antheridien, in denen eine außerordentlich große Menge von Spermatozoiden gebildet wird. Die Äste, an denen die Archegonien stehen, haben etwas andere Gestalt. Der schlanke bleiche Stiel trägt einen zierlichen neunstrahligen Schirm, dessen grüne Strahlen nach unten rinnenförmig eingerollt sind. An der Unterseite stehen zwischen den Schirmstrahlen, zwischen häutigen, zierlich gefranzten Decken, ganze Reihen von flaschenförmigen Archegonien. Wenn bei Regenwetter die Antheridienträger beneßt werden, so schwärmen die reifen Spermatozoiden aus. Die herabfallenden Regentropfen bewirken, daß die von Spermatozoiden bevölkerte Flüssigkeit, welche sich auf dem Hut des Antheridienträgers angesammelt hat, umherspritzt. Auf diese Weise werden die Spermatozoiden auch auf die Arche-

gonienträger übertragen. Hier bildet der aus den geöffneten Archegonienhälsen hervordringende Schleim wieder das Lockmittel, welches die Spermatozoiden in die Nähe des Eies führt,

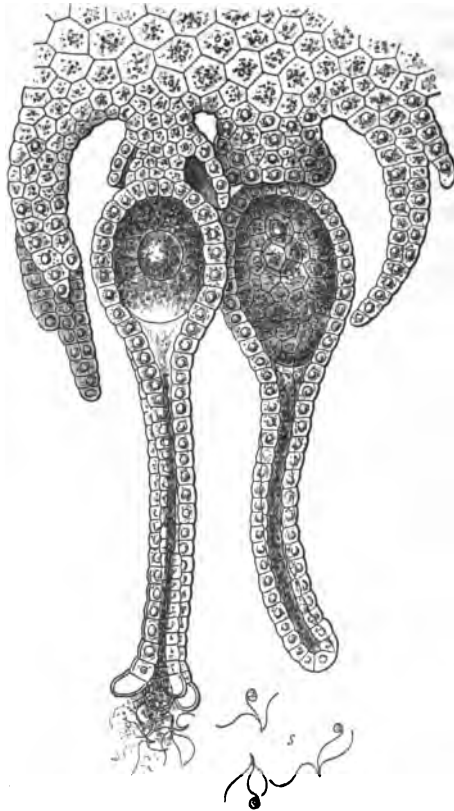


Abb. 13. Zwei Archegonien von Marchantia stark vergrößert (nach Dodel), das eine noch geschlossen, das andere wird an seiner geöffneten Halsmündung von Spermatozoiden s umschwärmt.

und die Befruchtung geht in der gleichen Weise wie bei Riccia vor sich, indem ein Spermatozoid mit dem im Archegoniumbauch eingeschlossenen Ei verschmilzt.

Der Embryo, welcher aus der durch die Befruchtung ent-

standenen Keimzelle hervorgeht, zeigt schon sehr früh die Andeutung einer Differenzierung seiner Zellen. Die im Archegonienbauch entstehenden Oberflächenzellen des vielzelligen Zellkörpers bleiben steril. Seitlich und nach oben hin umhüllen sie den sporogenen Zellkomplex als eine dünne Wand, die der Hauptsache nach aus einer einzigen Zellschicht besteht. Nach unten hin aber, im Grunde des Archegonienbauches bilden die sterilen Zellen eine mehrschichtige Lage, die sich bald zapfenförmig aus dem anfangs kugelförmigen Zellkörper hervorstülpt und zu einem zunächst noch kurzem Stiel wird. So erhält also das junge Sporogonium die Gestalt einer gestielten Kapsel, die in ihrem kugelförmigen oberen Teil die sporogenen Zellen einschließt. In dem Komplex der letzteren ist aber im Laufe der Entwicklung ebenfalls noch eine Differenzierung eingetreten. Die von der einschichtigen Wand der Kapsel umhüllten Zellen haben nur zum Teil ihre Keimnatur bewahrt, ein anderer Teil ist zwischen den Nachbarzellen zu langen, spindelförmigen Schläuchen ausgewachsen, die innen an ihrer Zellwand zwei spiralbandförmige Verdickungsleisten aufweisen. Man bezeichnet diese Faserzellen als Schleuderfäden oder Elateren. Die übrigbleibenden sporogenen Zellen werden zu Sporenmutterzellen. Jede von ihnen liefert vier Sporen mit reduzierter Chromosomenzahl.

Das Sporogonium mit Stiel und Kapsel bleibt bis zur Ausbildung der Sporen in dem sich erweiternden Archegonienbauch eingeschlossen. Bei der Sporenreife erfahren aber die Zellen des Stiels ein rasches Wachstum. Der Stiel streckt sich dadurch zu einem schlanken Träger, der mit seinem unteren Ende im Archegonienbauch stecken bleibt, während er die Kapsel mit Sporen und Elateren durch die zerreisende Archegonienwand nach außen schiebt.

Die Zellen der Kapselwand, deren Zellwände bei der inneren Ausbildung durch ringfaserförmige Wandverdickungen gefestigt worden sind, umhüllen zunächst noch die Sporen. Später zerreißt aber die Kapselwand vom Scheitel her in zahnförmige Lappen, die sich zurückrollen und den Kapselinhalt frei hervortreten lassen. Die Elateren, deren lebender Zellinhalt durch Wasser ersetzt worden ist, sind stark hygroskopisch, sie führen beim Eintrocknen Krümmungen aus. Sie quellen als flockige Masse aus der eröffneten Kapsel hervor und bewirken dadurch, daß die Sporenmassen in der Kapsel aufgelockert wer-

den und die Sporen einzeln zur Ausstreuung kommen. Bei der Kleinheit der Sporen kann es nicht wunder nehmen, daß dieselben vom Luftzug aufgenommen und wie Staubkörnchen hieshin und dort hin vertragen werden. Wenn sie durch diese Luftstreife auf feuchtes Erdreich übertragen werden, so keimen sie und lassen ein junges Marchantiapflänzchen aus sich hervorgehen.

Die Form der gestielten Kapsel, welche die zweite Generation der Marchantia erreicht, treffen wir auch in den anderen Abteilungen der Moose wieder an; selbst die eigentlichen Laubmoose gehen über diese Organisationshöhe nicht hinaus, wenn auch bei ihnen die Gewebebildung in den sterilen Zellkomplexen der zweiten Generation noch weitere Fortschritte aufweist.

Der Bau der Geschlechtsorgane ist bei den Laubmoosen von dem der Lebermoose nicht wesentlich verschieden. Wir finden die Antheridien und Archegonien meist am Gipfel des beblätterten Moosstämmchens oder an der Spitze kurzer Seitenäste nach Geschlechtern in Gruppen vereinigt. Die Befruchtung erfolgt auch hier durch Vermittelung eines Tau- oder Regentropfens, indem das im Bauche der Archegoniums geborgene Ei von einem Spermatozoid aufgesucht wird und mit ihm zu einer Zelle mit doppelter Chromosomenzahl im Kern verschmilzt.

Der Embryo streckt sich hier meist früh schon zu spindelförmiger Gestalt. Nachdem für die ersten Entwicklungsphasen der sich weitende und streckende Archegonienbauch den nötigen Raum gewährt hat, wird derselbe durch einen ringförmigen Riß in seinem unteren Teil losgelöst und in Gestalt einer Haube von dem nach aufwärts strebenden Scheitel des Embryos mit emporgetragen. Im Schutze dieser Hülle entwickelt sich der obere Teil des Embryos zur Sporenkapsel, während das stabförmige Fußstück zu einem derben, borstenförmigen Kapselstiel wird.

Die Zellen, welche den Stiel des Sporogoniums zusammensetzen, bedürfen, um die Sporenkapsel zu tragen, einer gewissen inneren Festigkeit, sie sind dementsprechend in verschiedenem Grade mit verdickten Zellwänden ausgestattet. Das untere Ende des Stiels, der Fuß des Sporogoniums dringt oft tief in das Gewebe des Moosstämmchens hinein; in einigen Fällen befestigt es sich durch schlauchartige Auswüchse, die zugleich die Rolle von Saugorganen spielen, durch welche das heranwachsende Sporogonium von der Moospflanze aus mit Nährstoffen versorgt wird. Am oberen Ende des Stiels findet sich meist eine freiselförmige als Hals

oder Apophyse bezeichnete Anschwellung, deren Gewebe in seinem Bau an die Ausbildung der Laubblätter der Blütenpflanzen erinnert. Eine mit Spaltöffnungen versehene Oberhaut umhüllt ein von Luftkanälen durchzogenes Zellgewebe, dessen Zellen reichlich mit Chlorophyllkörpern versehen und dadurch in die

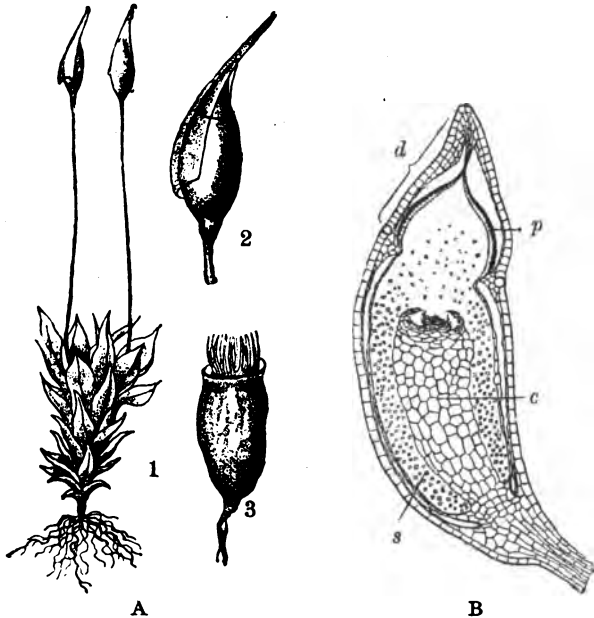


Abb. 14. A. 1 Laubmoospflänzchen mit zwei Sporogonien, schwach vergrößert; 2 Sporenkapsel stärker vergrößert mit Deckel und Haube; 3 geöffnete Kapsel mit Mundbesatz. B. Längsschnitt einer Sporenkapsel (stärker vergrößert), s Sporen, c Säulchen, d Deckel, p Mundbesatz. (Aus Giesenhagen, Lehrbuch der Botanik.)

Lage versetzt sind, selbständig aus Wasser und Luft organische Baustoffe zu bereiten.

Die weitgehendste Gewebedifferenzierung weist aber die eigentliche Kapsel auf. Schon frühzeitig wird in dem Gewebe der jungen Kapsel ein oberflächlicher Zellmantel abgetrennt, der den Ausgang für die Bildung der Kapselwand darstellt. Der von diesem Mantel eingeschlossene Zellkomplex wird dann noch

mals in einen inneren zylindrischen Kern und einen mantelförmigen Teil zerlegt. Der erstere bildet ein steriles Gewebe, das sich als massives Säulchen von dem Stielansatz bis zum Scheitel durch den ganzen Innenraum der Kapsel erstreckt; der letztere wird zu Sporenmutterzellen, aus denen unter Reduktionsteilung des Kerns je vier Sporen hervorgehen. Das Gewebe der Kapselwand schließt den von den Sporen erfüllten, mantelförmigen Raum rings um das Säulchen nach außen ab. In der reifen Kapsel besteht es aus mehreren verschiedenen Schichten. Eine äußere Schicht, die eigentliche Kapselwand, besteht aus mehreren Zelllagen, die ziemlich dicht gefügt sind und in der Oberflächenschicht lückenlos aneinanderanschließen. Nach innen zu schließt sich ein lockeres, von großen Luftlücken durchsetztes Gewebe an und endlich folgt als unmittelbare Umhüllung der Sporen die zarte Wand des Sporensackes.

Am Scheitel der Kapsel ändert sich der Bau der Kapselwand. Ein rundlicher, meist durch seine äußere Gestalt deutlich gegen den Leib der Kapsel abgesetzter Teil bildet einen Deckel. An der Stelle, wo der Deckel mit der übrigen Kapselwand in Verbindung steht, ist meistens ein rings um die Kapsel laufendes Band von Zellen in seiner Organisation derart verändert, daß es im reifen Zustande bei eintretender Feuchtigkeit aufquillt und gesprengt wird, so daß der Deckel abfällt. Der zurückbleibende urnenförmige Teil der Kapsel trägt dann meist an seinem oberen Rande einen einfachen oder doppelten Kranz zierlicher Zähnen in regelmäßiger Zahl und Stellung, die aus den Zellen unterhalb des Deckels im Scheitelteil der Kapsel hervorgegangen sind. Die Stellung dieser als Mundbesatz bezeichneten Zähne und ihre hygroscopischen Bewegungen regulieren die Aussaat der reifen Sporen, aus denen, wenn günstige Entwicklungsbedingungen eintreten, neue Moospflänzchen von der Art der Mutterpflanze hervorgehen.

Die zwischen dem Befruchtungsvorgang und der Sporenkeimung eingeschobene ungeschlechtliche 2x-Generation zeigt demnach bei den Laubmoosen schon eine komplizierte Entwicklung. Nur ein verhältnismäßig geringer Teil der aus der Keimzelle hervorgehenden 2x-Zellen behält die Keimnatur. Die große Mehrzahl dient der Bildung des Stieles und der Kapsel, deren Baueinrichtungen zu der Sicherung der Sporenentwicklung und zu der günstigen Verbreitung der reifen Sporen

mannigfache Beziehungen aufweisen. Aber trotz der erreichten Organisationshöhe erscheint uns hier die Sporenpflanze nur als unselbständiges Anhängsel der Geschlechtspflanze, das in seiner Lebensführung ganz von dieser abhängig ist und das mit der Erzeugung der Sporen seine Entwicklung abschließend zugrunde geht, sobald seine Funktion erfüllt ist. Die Möglichkeit, seinen Bestand über die Zeit der Sporenausstreuerung hinaus zu erhalten, fehlt auch dem höchst organisierten Sporogonium der Laubmoose. Alle Zellen seines Leibes, soweit sie nicht zu Sporen werden, haben eine begrenzte Entwicklung, sie altern und sterben ab, wenn ihre Zeit erfüllt ist.

Bei den Farnkräutern ändert sich dieses Verhältnis, indem einige der von der Keimzelle abstammenden $2x$ -Zellen der Sporenpflanze ihre Entwicklungsfähigkeit dauernd bewahren und zu Vegetationspunkten werden mit der Befähigung, fort und fort neue $2x$ -Zellen aus sich hervorzubringen, die zu Körperzellen der Sporenpflanze oder zu Sporen oder wiederum zu Vegetationspunkten werden können. Wie mit einem Schlage führt die damit gegebene Entwicklungsmöglichkeit, die Formgestaltung und die innere Differenzierung der Sporenpflanze auf eine Entwicklungshöhe, welche von der Geschlechtspflanze nicht erreicht worden ist. Die zwischen der Befruchtung und der Sporenkeimung eingeschobene Generation, die bei den grünen Algen überhaupt noch nicht vorhanden ist, bei den Moosen nur als ein unselbständiges Anhängsel von kurzer Lebensdauer erscheint, wird dadurch zur selbständigen Pflanze, welche durch Körpergröße, Lebensdauer, äußere Gliederung und Vielgestaltigkeit des inneren Baues die Geschlechtspflanze sehr weit übertrifft.

Die Geschlechtspflanze der Farne ist ein wenige Millimeter großes, grünes Schüppchen, das in seiner Gestalt an die einfachsten Formen der Lebermoose erinnert. Man bezeichnet dieses unscheinbare Gebilde als den Vorkeim der Farne. Einen solchen Vorkeim in der freien Natur aufzufinden, dazu gehört Glück und ein kundiger Blick. Leichter kann man sich den Anblick eines Farnvorkeimes verschaffen, wenn man Sporen eines Farns in einer Blumenschale ausstret. Man erhält die Sporen leicht, wenn man einen Farnwedel, dessen Unterseite die den Farnen eigentümlichen braunen Cupfen aufweist, auf einem weißen Papierblatt eintrocknen läßt. Es sammelt sich dann auf

dem Blatt ein bräunlicher Staub, welcher der Hauptsache nach aus Sporen besteht. Als Boden wählt man für die Sporen am besten einen feuchten Torfwürfel, der vorher durch Auslocken von allen anhängenden Keimen befreit worden ist. Um die Austrocknung zu verhindern, muß der besäte Torfwürfel in der Blumenschale mit einer Glasglocke überdeckt werden. Wird es nötig, den Torfwürfel frisch anzufeuchten, so geschieht das am besten mit gefochtem, aber bereits abgefühltem Wasser von unten her, damit nicht die obenauf liegenden feinen Sporen zu tief in die Poren des Torfstückes hineingeschwemmt werden. Gelingt die Aussaat und werden nicht die Sporen oder die aus ihnen hervorgehenden Keimpflanzen nachträglich durch widrige Verhältnisse getötet, so erscheint nach einiger Zeit das Torfstück mit kleinen grünen Schüppchen bedeckt, die wie ein Riccia-laub mit feinen, an der Unterseite entspringenden Haarwürzelchen festgeheftet sind. Die Gestalt des Vorkeimes ist in den meisten Fällen herzförmig. In der vorderen Einbuchtung liegt der Vegetationspunkt. Die Randlappen des Schüppchens bestehen aus einer einfachen Schicht von Zellen, die mit Chlorophyllkörpern versehen sind. Nur die mittlere Partie des herzförmigen Schüppchens ist etwas kräftiger gebaut; in ihr sind die Zellen in mehrfacher Lage zu einem Zellkörper vereinigt, den man als den Archegonienträger von den zarten Laublappen, die ihm seitlich ansetzen, unterscheidet. An diesem Teil und zwar an der vom Licht abgewendeten Unterseite treten nämlich, sobald die Vorkeime genügend hervorgewachsen sind, die weiblichen Geschlechtsorgane, die Archegonien auf.

Die Archegonien der Farne lassen wie die der Moose den Bauchteil mit der Eizelle und den Halsteil erkennen; sie sind mit dem Bauchteil in das Gewebe des Vorkeims versenkt, so daß nur der kurze Hals aus demselben hervorragt. Die Anthridien sind kleine rundliche Auswüchse einzelner Zellen des Vorkeims, sie bestehen aus einigen Wandzellen und meist nur wenigen inneren Zellen, die zu Spermatozoiden werden. Die Spermatozoiden der Farne weichen in ihrem Bau von dem der Laub- und Lebermoose äußerlich dadurch etwas ab, daß bei ihnen die Zilien in größerer Anzahl ausgebildet sind. Die Befruchtung geht auch hier bei Gegenwart von Wasser in der bekannten Weise vor sich, und das befruchtete Ei macht im Archegonienbauch seine erste Entwicklung durch. Bald aber

wird das Archegonium von dem heranwachsenden Embryo durchbrochen. Nur ein zapfenförmiger Auswuchs des entstehenden Zellkörpers, der Embryofuß, bleibt im Archegonienbauch stecken und erhält für einige Zeit die Verbindung zwischen dem Gewebe des Vorkeimes und der jungen Sporenpflanze aufrecht. An der letzteren treten bald die ersten Organe auf. Es bildet sich eine Wurzel aus, ein zylindrischer Zellkörper, der an seiner

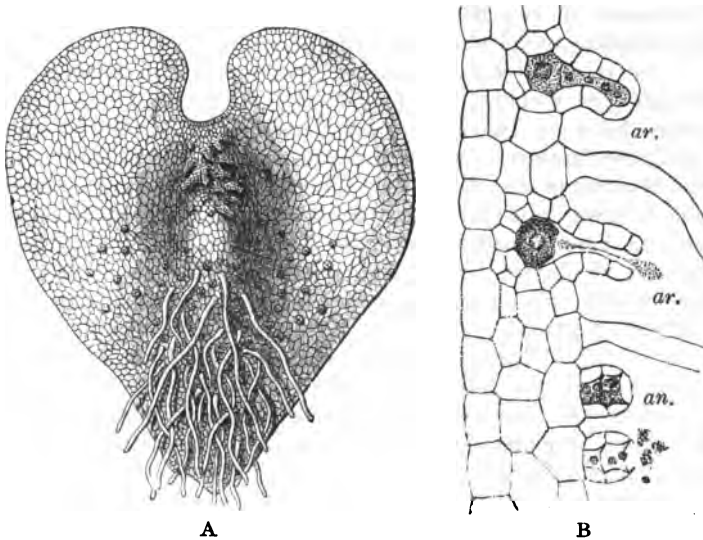


Abb. 15. A Vorkeim eines Farns von der Unterseite gesehen, mit Haarwurzeln und Geschlechtsorganen. B Längsschnitt durch den Vorkeim, mit Archegonien *ar.* und Antheridien *an.* Das untere Archegonium hat eben seinen Hals geöffnet, das untere Antheridium entläßt seine Spermatozoiden.

Spitze einen Vegetationspunkt trägt und durch fortschreitendes Wachstum sich verlängernd in den Erdboden eindringt, um die junge Sporenpflanze dort zu befestigen und ihr Nahrungstoffe zuzuführen. Ein anderer Zellkomplex des Embryos bildet die Anlage eines ersten Laubblattes, das auf einem stabförmigen Stiel eine kleine grüne Blattspitze trägt, welche im Lichte die von der Wurzel zugeführten Nährstoffe und die aus der Luft aufgenommene Kohlensäure zu organischen Baustoffen verarbeitet.

Am Grunde dieses Keimblattes tritt am Embryo bald der Vegetationspunkt eines Sprosses auf, der durch sein Wachstum eine zylindrische Sproßachse entstehen läßt, und weitere Laubblätter und Vegetationspunkte als Anlagen von Wurzeln und Seitensprossen hervorbringt; Sproß, Wurzeln und Blätter sind von besonderen aus Zellsträngen hervorgegangenen Leitungsbahnen durchzogen, die den Stoffverkehr von der Wurzel zu den Stätten der Verarbeitung im Blatt und von dort zu den Stellen des Verbrauchs in den Vegetationspunkten und den aus ihnen hervorgehenden, wachsenden Geweben vermitteln.

So wird bei den Farnen die Sporenpflanze zu einem völlig selbständigen Gebilde, das von dem Vorkeim, in dessen Archegonien durch die Befruchtung der Keim gebildet wurde, in allen Lebensbeziehungen gänzlich unabhängig ist. Der Vorkeim stellt sein Wachstum ein, sobald die befruchtete Eizelle ihre Entwicklung beginnt, und wenn der Embryo zu selbständiger Lebensführung herangewachsen ist, geht das Gewebe des Vorkeimes meistens in kurzer Zeit völlig zugrunde. Die Sporenpflanze aber wächst und gedeiht, wenn die äußeren Umstände ihre Entwicklung begünstigen, zu einer beblätterten Farnpflanze, deren lebenskräftige Vegetationspunkte unablässig die Zahl der Zellen vermehren und neue Organe entstehen lassen von Jahr zu Jahr.

Alle die Zellen, welche die Farnpflanze zusammensetzen, sind durch typische Zellteilungen aus der einen Keimzelle hervorgegangen, deren Kern bei der Befruchtung die Chromosomen des Eies und des Spermatozoids in sich vereinigte, sie besitzen demnach auch alle Doppelkerne. Die Keimnatur geht allerdings den meisten verloren, sie werden zu Körperzellen, die entsprechend der Lage, die ihnen in dem Gesamtverbande zukommt, ihre innere Ausbildung gestalten, und die nach Erfüllung ihrer Funktion zugrunde gehen. Die Zellen der Vegetationspunkte aber bewahren die ihnen überkommene Keimnatur und geben dieselbe an diejenigen Zellen weiter, aus denen im weiteren Verlauf der Entwicklung die Sporen hervorgehen.

Die Sporenbildung findet bei den Farnpflanzen an der Unterseite der Blätter statt. Dort entwickeln sich an bestimmten Stellen Gruppen von Sporenkapseln oder Sporangien, die von einer Wandschicht umhüllt, eine sporogene Zelle enthalten, aus welcher die Sporenmutterzellen hervorgehen. Der Kern der

Sporenmutterzellen macht die Reduktionsteilung durch, und es entstehen wie bei den Moosen aus jeder Sporenmutterzelle vier Sporen mit einfacher Chromosomenzahl im Kern. Durch besondere mechanische Einrichtungen an der Wand der Sporenkapseln wird die Austreuung der reifen Sporen bewirkt. Wie aus ihnen die junge Nachkommenschaft der ehemaligen Geschlechts- pflanze hervorgeht, ist bereits oben geschildert worden.

Fragen wir uns nun, welche Bedeutung der veränderte Entwicklungsverlauf für die Vererbung besitzt, so müssen wir zunächst konstatieren, daß durch das Selbständigwerden der ungeschlechtlichen Generation die Übertragung der Eigenschaften von der Geschlechts- pflanze auf ihre gleichgestalteten Nachkommen nicht grundsätzlich beeinflusst wird. Der Chromosomenverdoppelung im Befruchtungsvorgang folgt die Chromosomenreduktion bei der Sporenbildung. Zwischen den beiden Vorgängen liegt hier allerdings eine längere mit zahlreichen Zellteilungen verbundene Entwicklungsepoche der 2x-Generation eingeschaltet, da aber die Zellteilungen typisch verlaufen, so wird dadurch die Erbmasse nicht wesentlich verändert. Die Chromosomen werden von Kern zu Kern weitergegeben, sie behalten ihre Individualität und ihre spezifische Organisation, und wir können demnach die einzelne Sporenmutterzelle der aus der Zellverschmelzung bei der Befruchtung hervorgegangenen Keimzelle in Beziehung auf ihre Befähigung zur Übertragung erblicher Eigenschaften gleich setzen. Allerdings erfahren ja die Zellen der 2x-Generation bei ihrer vegetativen Entwicklung eine Beeinflussung durch die äußeren Lebensumstände und durch die inneren Wechselbeziehungen der Zellen und Zellverbände untereinander. Aber diese Einflüsse treffen die in den Kernen der 2x-Generation verbundenen väterlichen und mütterlichen Erbmassen in gleicher Weise, und in denjenigen Zellen, denen im Lauf der vegetativen Entwicklung der Sporenpflanze die Keimnatur erhalten bleibt, tritt außerdem schließlich die heterotypische Kernteilung ein, welche den Chromosomen die Gelegenheit zur Abgleichung erworbener Verschiedenheiten gibt.

Für die Sicherung der Übertragung der erblichen Eigenschaften der Geschlechts- pflanze auf eine Nachkommenschaft, ist offenbar das Selbständigwerden der Sporenpflanze und die mit dem Auftreten von Vegetationspunkten gegebenen Verlängerung ihrer Lebensdauer über die erstmalige Sporenbildung hinaus

ein günstiges Moment. Die Zahl der erbgleichen Sporen wird damit ins Unendliche vermehrt; die Wahrscheinlichkeit, daß eine dieser Sporen in günstige Entwicklungsbedingungen gelangt und zu einer neuen Geschlechtspflanze mit den Eigenschaften der Mutterpflanze wird, erreicht dadurch einen hohen Grad.

Die Frage nach dem Einfluß der Befruchtung auf die erbliche Übertragung der körperlichen Eigenschaften von Generation zu Generation wird nun aber eine wesentlich andere, wenn wir unser Augenmerk dabei nicht wie bisher auf die Geschlechtspflanze und ihre ihr ähnlichen Nachkommen richten, sondern auf die Sporenpflanze. Wie beeinflusst die Befruchtung die Erbmasse, durch welche die Wiederersterkung der Eigenschaften einer Sporenpflanze, in den als ihre Nachkommen anzusehenden Sporenpflanzen der nächsten Generation bedingt wird?

Nehmen wir den einfachen Fall, daß ein aus einer Spore erwachsener Farnvorkeim Antheridien und Archegonien trägt und daß die Eizelle eines Archegoniums von einem an demselben Vorkeim entstandenen Spermatozoid befruchtet wird, so bekommt die Keimzelle einen Doppellern, in welchem die Elemente des Kerns der Spore in ihren artgleichen Abkömmlingen zweimal auftreten. Der Kern der Keimzelle gleicht also dem der Sporenmutterzelle, aus der die Spore an der vorhergehenden Sporenpflanze hervorgegangen ist und damit auch der Keimzelle der vorhergehenden Sporenpflanze. Die Kerne in den Keimzellen zweier aufeinanderfolgenden Sporenpflanzen sind demnach von gleicher Beschaffenheit. Die Erbmasse wird nur bei der Sporenbildung in zwei gleiche Hälften geteilt und durch die vegetative Entwicklung der Geschlechtspflanze in getrennten Hälften von Zelle zu Zelle weiter gegeben. Bei der Befruchtung aber vereinigen sich die Hälften wieder in der Keimzelle, die den Anfang der neuen Sporenpflanze bildet. Die Verschiedenheiten, welche die Keimhälften während ihrer Trennungszeit in den vegetativen Zellen der Geschlechtspflanze erwerben können, gehen allerdings unausgeglichen in den Keimkern über, da aber jedesmal am Anfang jeder Geschlechtspflanze, bei der die Sporenkerne ergebenden heterotypischen Teilung die Gelegenheit zu einer Ausgleichung gegeben ist, so können diese Verschiedenheiten immer nur minimale sein, und sie werden um so geringer ausfallen, je kürzer die Entwicklung der Geschlechtspflanze von

der Spore bis zur Bildung der Eizellen und der Spermatozoiden verläuft.

Der Fall, daß Ei und Spermatozoid, deren Verschmelzung den Keim liefert, von demselben Vorkeim stammen, kommt in der Natur bei farne sicher bisweilen vor, man spricht dann von einer Selbstbefruchtung oder Autogamie des Vorkeims. Die Regel aber bildet offenbar die Fremdbefruchtung oder Heterogamie, die Befruchtung des Eies durch ein Spermatozoid, das von einem anderen Vorkeim abstammt. Wir finden nicht selten bei den Vorkeimen der farne Einrichtungen, welche eine Selbstbefruchtung unmöglich machen. So tragen manche farne Vorkeime nur in den ersten Entwicklungsstadien Antheridien, und wenn später auch Archegonien auftreten und empfängnisfähig werden, so sind die zuvor gebildeten Spermatozoiden bereits alle ausgeschwärmt und verschwunden. Bei anderen Arten beschränken sich gewisse Vorkeime auf die Ausbildung von Antheridien, während andere Vorkeime ausschließlich Archegonien bilden. Wir können dann also zweierlei Vorkeime, männliche und weibliche, unterscheiden. In allen diesen Fällen müssen die Sexualzellen, welche zur Keimzelle verschmelzen, verschiedenen Ursprungs sein: der Beitrag zu dem Erbgut, welches die Keimzelle auf die neue Sporenpflanze überträgt, stammt von zwei verschiedenen Pflanzen, die wohl ihrer Art nach gleich aber doch individuell verschieden sind. Dadurch wird in die Vererbung ein neues Moment hineingebracht. Eine väterliche und eine mütterliche Pflanze, die aus ganz verschiedenen Entwicklungsreihen abstammen können, wenn sie auch derselben Art angehören, übertragen gemeinsam ihr Erbe der neuen Sporenpflanze. Die ihrer Organisation nach ähnlichen, aber doch individuell verschiedenen Vererbungsträger müssen ihre Wirksamkeit in der Entwicklung und Ausgestaltung der neuen Pflanze bemerkbar machen. Die väterlichen und die mütterlichen Eigenschaften treten hier in dem Nachkommen in einen Wettbewerb, dessen Ergebnis in dem einzelnen Falle verschieden ausfallen muß.

Bevor wir indes diesen Gedanken weiter verfolgen, wird es nötig sein, zu erörtern, wie diese Verhältnisse sich bei den höheren Pflanzen gestalten.

Kapitel IV.

Der Befruchtungsvorgang bei Farnpflanzen mit zweierlei Sporen und bei den Gymnospermen.

Ob der Vorkeim eines Farnkrautes Anthridien oder Archegonien hervorbringt, das ist in gewissem Sinne von der Ernährung der Zellen abhängig. Die Spermatozoiden sind äußerst kleine Gebilde, die zu ihrer Bildung nötige organische Substanz ist sehr gering. Die Eizelle dagegen übertrifft in Beziehung auf ihren Gehalt an organischen Stoffen die Spermatozoiden um ein Vielfaches. Diese Beziehung zwischen der Ernährung und der Anlegung der Geschlechtsorgane kommt schon deutlich darin zum Ausdruck, daß die jungen Vorkeime meistens zuerst nur Anthridien tragen, erst später, wenn die Vorkeimpflanze herangewachsen und kräftiger geworden ist, werden auch Archegonien angelegt.

Der Nachweis, daß die Ernährungsbedingungen geradezu den ausschlaggebenden Faktor bilden für die Bestimmung des Geschlechtes der Fortpflanzungsorgane, konnte bei den Schachtelhalmen geführt werden, welche hinsichtlich ihres Entwicklungsganges den Farnkräutern sehr nahe stehen. Die Schachtelhalme stimmen in dem Grundplan ihres Baues mit den Farnkräutern überein. Sie besitzen echte Wurzeln und eine mit Vegetationspunkt versehene Sproßachse, welche Blätter trägt und sich aus seitlichen Vegetationspunkten regelmäßig verzweigt. Die Ausgestaltung dieser Organe zeigt aber mancherlei Besonderheiten. Die Sprosse verzweigen sich viel reichlicher als es bei den Farnkräutern die Regel ist, die Blätter dagegen sind viel kleiner als die meist reichgeteilten Wedel der Farne; sie stehen in Quirlen an den durch hohle Zwischenglieder getrennten Sproßknoten und sind im einzelnen Wirtel untereinander zu einer Scheide verwachsen. Die Sporenbehälter entstehen hier nicht wie bei den Farnen an den grünen Laubblättern, sondern es treten außer den vegetativen Quirlblättern besondere Sporenblätter auf, die am Gipfel eines Sprosses eine aus dicht gedrängten Quirlen zusammengesetzte Ähre, die sogenannte Sporangienähre, bilden. Das einzelne Sporenblatt stellt ein gestieltes Schildchen dar, an dessen Unterseite mehrere sackförmige Sporenbehälter stehen. Die in diesen Sporangien sich bildenden einzelligen

Sporen gehen je zu vierten aus einer Sporenmutterzelle hervor, deren erster Teilungsschritt die Reduktion der Chromosomenzahl im Kern herbeiführt. Als eine Besonderheit der Schachtelhalme ist eine häutige Umhüllung der einzelnen Sporenzelle anzusehen, die sich an der reifen Spore in zwei gekreuzte, stark hygroscopische Spiralbänder auflöst. Durch diese als Elateren bezeichneten Spiralbänder wird die Sporenmasse in dem sich öffnenden Sporangium aufgelockert und zu flockigen Massen zusammengehäuft, die leicht vom Winde davongetragen werden können.

Sät man die Sporen eines Schachtelhalmes unter günstigen Bedingungen aus, trägt man Sorge, daß jeder der sich entwickelnden Keimpflanzen genügend Raum, Licht, Luft, Wasser und Nährstoffe zur Verfügung stehen, so erwachsen aus ihnen kräftige, mehrere Millimeter hohe Vorkeime, die mit zahlreichen Haarwurzeln an der Unterlage haften und an ihrem massiven Körper unregelmäßig gestaltete laubige Lappen tragen. Den oberen Teil des Körpers nimmt ein wachstumsfähiges Gewebe, ein Vegetationspunkt, ein. Wenn die Entwicklung unter gleichgünstigen Bedingungen fortschreitet, so treten an dem Vegetationspunkt der Vorkeime zahlreiche Archegonien auf, deren Eizellen der Befruchtung harren. Es sind also bei den günstigen Ernährungsbedingungen rein weibliche Pflanzen gebildet worden. Gibt man dagegen den keimenden Sporen weniger günstige Entwicklungsbedingungen, so entstehen männliche Prothallien, die keinen ausdauernden Vegetationspunkt besitzen und ihre Entwicklung mit der Ausbildung von Antheridien abschließen. Sie sind meist kleiner und weniger verzweigt, auch wohl bleicher grün gefärbt als die weiblichen. Wenn man weibliche Vorkeime, die bereits die ersten Archegonien angelegt haben, nachträglich in ungünstigere Ernährungsbedingungen versetzt, so gelingt es, ihren Geschlechtscharakter zu ändern und sie zur Antheridienbildung zu bestimmen. Damit ist gezeigt, daß die Ernährung des Vorkeims bei der Entscheidung, ob eine männliche oder weibliche Pflanze entsteht, den Ausschlag gibt.

Die Ernährung des Vorkeims ist nun außer von den äußeren Lebensbedingungen auch noch von dem Maße der organischen Substanz abhängig, welche die Sporenzelle von der Mutterpflanze als Mitgift bekommen hat. Stellen wir uns vor, daß von zwei Sporen, welche von derselben Sporenpflanze gebildet wurden, die eine in ihrem Zellenplasma neben dem Zell-

tern einen Vorrat von Stärkekörnern, fettem Öl und Eiweiß enthält, während die andere dieser Nährstoffe ermangelt, so wird der aus der ersteren gebildete Keimling sich von Anfang an in besseren Ernährungsbedingungen befinden als der andere. Er hat zu seinem Aufbau die wichtigsten Stoffe schon zur Verfügung, die der minder begünstigte Keimling sich erst durch eigene Assimilationsarbeit verschaffen muß.

Den Fall, daß große nährstoffreiche Sporen, sogenannte Makrosporen, und kleine an Nährstoffen arme Sporen, Mikrosporen, an derselben Pflanze nebeneinander gebildet werden, treffen wir schon bei gewissen Farnkräutern an. Man hat eine Verwandtschaftsgruppe derselben als die Wasserfarne oder Hydropteriden bezeichnet, weil die dahingehörigen Formen ihren Standort in oder am Wasser wählen. Dieser Gruppe steht auch das früher mit den Bärlappgewächsen zusammengestellte Brachsenkraut nahe, einer Farnpflanze mit einfachem knollenförmigen Stamm, der in rosettenartiger Anordnung um seinen Sproßgipfel einen Büschel aufrecht stehender pfriemenförmiger Blätter trägt. In Deutschland findet sich das Brachsenkraut hier und da am Grunde flacher Seen und Teiche. Die Sporenblätter des Brachsenkrautes sind den sterilen Laubblättern äußerlich gleich. Sie ordnen sich an der Achse in der Weise an, daß nur die äußeren Blattreife der Rosette Sporangien tragen, während die dem Vegetationspunkt am nächsten stehenden Blätter unfruchtbar bleiben. Jedes Sporenblatt trägt ein einziges sackförmiges Sporangium in einer nach der Blattoberseite geöffneten Grube an dem scheidenartig verbreiterten Blattgrunde. Zur Zeit der Sporenreife finden sich in den Sporangien der äußersten Blätter eine Anzahl großer brauner Makrosporen, die Sporangien der nächstfolgenden Blattzyklen enthalten dagegen sehr kleine, staubfeine Mikrosporen in viel größerer Anzahl. Verfolgen wir die Entwicklungsgeschichte der Sporen, so ergibt sich, daß die Makro- und Mikrosporen genau in der gleichen Weise je zu vier aus einer Sporenmutterzelle hervorgehen. Nur war die durch Teilung des sporogenen Gewebes entstandene Zahl der Sporenmutterzellen viel größer in dem Mikrosporangium als im Makrosporangium, und dafür zeigten in letzteren die Sporenmutterzellen früh eine bedeutende Größenzunahme und eine Anhäufung von Stärkekörnern in ihrem Protoplasma, die bei der Teilung der Mutterzelle auf die

Sporen übergang. Dem Unterschied in der Nährstoffverteilung entspricht die Entwicklung, welche die aus dem Sporangium befreiten reifen Sporen durchmachen. Die Makrospore keimt, indem zunächst ohne Größenzunahme im Innern der Sporenzellen Zellteilungen eintreten, durch welche der Inhalt der

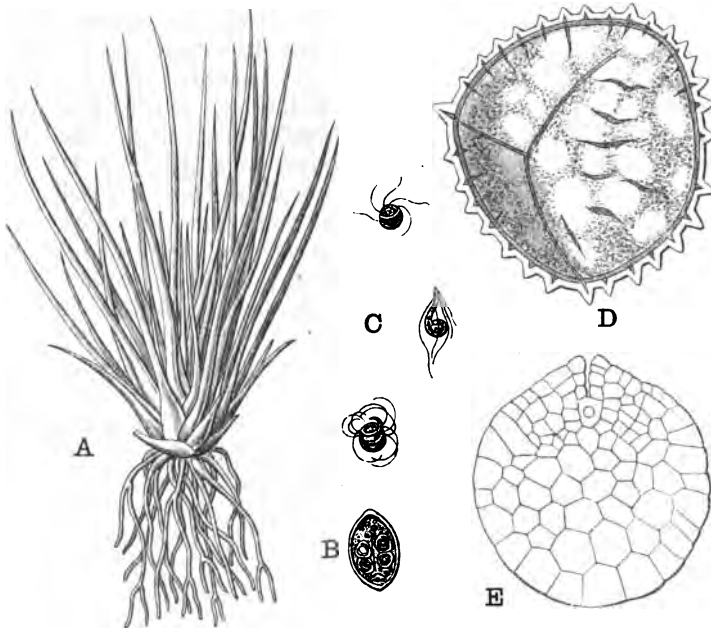


Abb. 16. Das Brachsenkraut *Isoetes lacustris*. A Ganze Pflanze in natürlicher Größe (nach Kuersten). B eine Mikrospore in der sich das rudimentäre Antheridium gebildet hat. C Spermatozoiden. D Eine Makrospore. E Der im Innern der Makrospore gebildete weibliche Vorkeim mit dem Archegonium im Längsschnitt (B—E stark vergrößert).

Spore in einen annähernd kugelförmigen Zellkörper, das weibliche Prothallium, umgewandelt wird. Durch ein geringfügiges Wachstum wird endlich die dicke Sporenhaut an einer bestimmten, vorgebildeten Stelle gesprengt und das Prothallium tritt zwischen den klaffenden Lappen der Sporenhaut ein wenig hervor. An seinem dadurch freigelegten Scheitel bildet sich ein Archegonium mit Hals und Bauch und mit der im letzteren

liegenden Eizelle. Bleibt das Archegonium unbefruchtet, so treten noch einige weitere Archegonien auf. Die Archegonien sind ganz in das Gewebe des Vorkeimes eingesenkt, auch der Hals ragt nicht über die Oberfläche hervor. Gegenüber den Vorkeimen der Farne mit einerlei Sporen erweist sich der weibliche Vorkeim des Brachsenkrautes stark vereinfacht. Er besitzt wie der männliche Vorkeim der Schachtelhalme keinen Vegetationspunkt mehr. Seine Zellen enthalten keine Chlorophyllkörper, es werden keine Haarwurzeln gebildet und das ganze Pflänzchen ist deshalb in seiner Ernährung ausschließlich auf die in der Spore enthaltenen Nährstoffe angewiesen. Bei den männlichen Vorkeimen des Brachsenkrautes geht die Vereinfachung des vegetativen Apparates noch weiter. Die Keimung der Mikrospore ist nicht mit einem Wachstum verbunden, es treten auch nur wenige Zellteilungen ein, welche aus der Sporenzelle einen wenigzelligen Körper werden lassen. Der Hauptsache nach besteht dieser Zellkörper aus einem einzigen Antheridium. Nur eine einzige, kleine Zelle kann als der Rest eines vegetativen Vorkeimes angesehen werden. Das Antheridium besteht aus einigen Wandzellen, die vier mit vielen Zilien ausgerüstete Spermatozoiden einschließen. Die ganze vegetative Entwicklung der Geschlechtspflanze ist also bei dem männlichen Vorkeim auf wenige Zellteilungsschritte zusammengedrängt, die sich innerhalb der Sporenmembran abspielen.

Die Befruchtung geht an den im Wasser zur Ausbildung gelangten Vorkeimen in der bekannten Weise vor sich. Die Eizelle in dem geöffneten Archegonium wird von dem selbstbeweglichen Spermatozoid aufgesucht. Die Verschmelzung der beiden Geschlechtszellen liefert den Keim, der sich zunächst in dem weiblichen Vorkeim auf Kosten der dort aufgespeicherten organischen Nährstoffe zu einem Embryo entwickelt. An diesem zeigen sich bald die ersten Anlagen der wichtigsten Organe, Wurzel, Sprossvegetationspunkt und erstes Blatt. Frei werdend bemurzelt sich die junge Pflanze reichlich und übernimmt mit dem Chlorophyllgehalt ihrer Blätter die selbständige Ernährung.

Mit der weitgehenden Vereinfachung seiner Geschlechtspflanzen zeigt uns das Brachsenkraut den Weg zum Verständnis des Befruchtungsvorganges bei den Blütenpflanzen. Auf der niedersten Entwicklungsstufe stehen unter diesen die Farnpalmen oder Cykadeen, ein ausländisches Pflanzengeschlecht, von dem

aber einige Arten in den Gewächshäusern unserer Gärtnereien regelmäßig anzutreffen sind. Die Cykadeen haben einen meist unverzweigt bleibenden, walzenförmigen Stamm. Derselbe ist am Grunde bewurzelt und trägt an der Spitze eine prächtige Krone von mehr als meterlangen, regelmäßig gefiederten, derben dunkelgrünen Blättern, die vielfach unter der falschen Bezeichnung als Palmenwedel zu Trauerdekorationen verwendet werden. Die Blüten der Cykadeen sind große Zapfen, sie bestehen aus

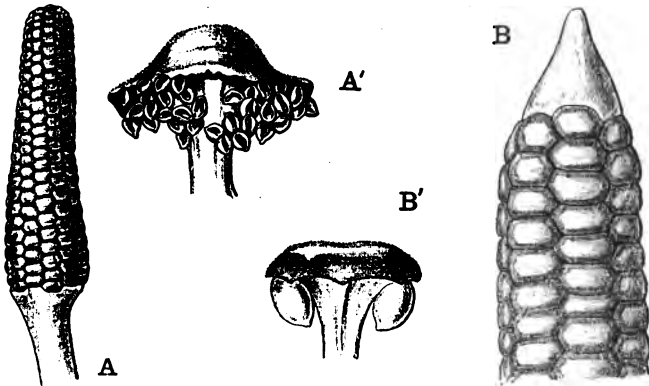


Abb. 17. A Männlicher Blütenzapfen einer Cykadee (*Zamia muricata*) etwas verkleinert; A' Ein einzelnes Sporenblatt desselben mit geöffneten Sporensäcken, in denen Mikrosporen (Blütenstaub, Pollenkörner) enthalten waren. B Oberer Teil eines weiblichen Blütenzapfens derselben Cykadee etwas verkleinert. B' Ein einzelnes Sporenblatt mit zwei großen Sporangien (Samenanlagen), die je eine Makrospore (den Embryosack) einschließen.

einer Achse, welche zahlreiche, regelmäßig in Schraubenlinien angeordnete schuppen- oder schildförmige Blätter tragen. In ihrer äußeren Erscheinung können die Blütenzapfen der Cykadeen demnach mit den allerdings vielmal kleineren Sporangien-ähren der Schachtelhalme verglichen werden. Wie bei diesen tragen auch hier die Blätter der Zapfen an ihrer Unterseite die Sporangien. Nach der Ausbildung der letzteren und der in ihnen entstehenden Sporen müssen wir bei den Cykadeen zweierlei ihrem Wesen nach verschiedene Blüten unterscheiden, männliche und weibliche Blüten, die getrennt auf verschiedenen Stöcken derselben Art stehen. Die Sporenblätter der männlichen Blüten tragen Sporangien, in denen Mikrosporen gebildet werden.

Diese sind staubfein und werden, wenn sie bei ihrer Reife aus den sich öffnenden Sporensäcken frei werden, leicht wie Staub vom Winde fortgetragen. Man bezeichnet sie deshalb als Blütenstaub. In den weiblichen Blüten trägt jedes Sporenblatt dagegen meist zwei große, fleischige Sporangien, die nur eine einzige Makrospore einschließen. Die Makrosporen werden auch bei ihrer Reife nicht aus dem Gewebeverbande des Sporangiums gelöst, sie stellen vielmehr in demselben nur eine besonders große Zelle dar, die man als den Embryosack bezeichnet. Die fleischigen Sporangien aber, welche den Embryosack einschließen, werden Samenanlagen genannt, weil aus ihnen, wie wir sehen werden, die Samen der Pflanze hervorgehen.

Die Entstehung der Mikro- und Makrosporen geht in der typischen Weise vor sich. In den Sporangien der männlichen Blüten finden wir in jugendlichen Zuständen ein von der Sporangienwand umhülltes sporogenes Gewebe, dessen Zellen durch wiederholte Teilung die Sporenmutterzellen liefern. Da man die den Blütenstaub bildenden Mikrosporen von alters her als Pollenkörner bezeichnet hat, so hat man bei den Blütenpflanzen die Bezeichnung Pollenmutterzellen statt Sporenmutterzellen der Mikrosporen eingeführt und entsprechend werden auch die Mikrosporangien bei ihnen als Pollensäcke bezeichnet. Die Pollenmutterzellen teilen sich heterotypisch und liefern je vier Pollenzellen, die infolge der Chromosomenreduktion je x Chromosomen in ihrem Kern führen.

Auch in den Samenanlagen ist früh ein sporogener Zellkomplex nachzuweisen, von diesem werden aber zahlreiche Zellen zu sterilbleibendem Gewebe des Sporangiums, nur eine einzige Zelle behält ihre Keimnatur und bildet also eine Sporenmutterzelle für Makrosporen, die hier wie bei allen Blütenpflanzen als Embryosackmutterzelle bezeichnet wird. Auch diese Mutterzelle erfährt die zweimalige Teilung mit der Chromosomenreduktion im ersten Teilungsschritt. Von den vier Tochterzellen wird aber nur eine zur Makrospore, zum Embryosack, während die andern drei von ihrer mächtig heranwachsenden Schwester verdrängt werden und keine weitere Entwicklung mehr erfahren.

So sehen wir also bei der Sporenpflanze der Cycadeen, wie beim Brachsenkraut zweierlei Sporen auftreten, Mikrosporen oder Pollenkörner und Makrosporen oder Embryosäcke.

Hier wie dort entstehen die Mikro- und Makrosporen an besonderen Sporenblättern, die man danach als Mikro- und Makrosporenblätter unterscheiden kann. Während aber bei dem Brachsenkraut die Makrosporenblätter und Mikrosporenblätter in aufeinanderfolgenden Zyklen an dem Hauptsproß neben

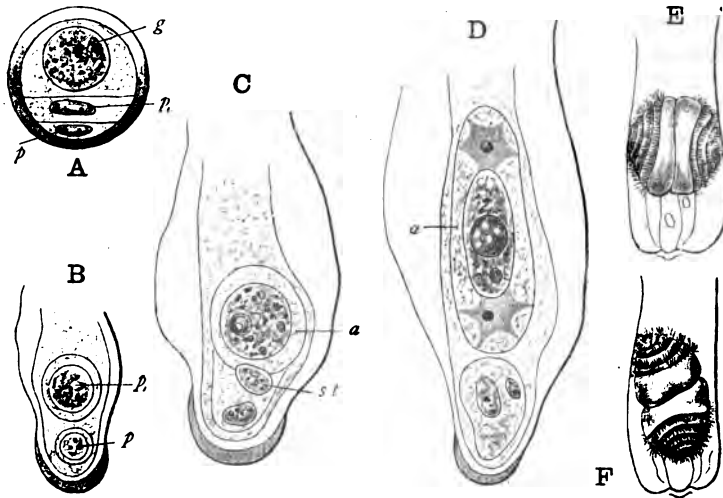


Abb. 18. Die Entwicklung der Spermatozoiden in dem Pollenkorn einer Cycadee (Cycas) stark vergrößert (nach Ifeno). A Pollenkorn im Beginn der Keimung. g der vegetative Kern des Pollenkorns. p und p, zwei von ihm durch successive Teilung abgeleitete Kerne, p repräsentiert den Keß des männlichen Prothalliums; p, ist der Kern der generativen Zelle. B Die Prothalliumszelle p und die generative Zelle p, liegen frei im Plasma des aus dem Pollenkorn hervorgegangenen Schlauches. C Die generative Zelle hat sich in die Stielzelle st und in die Antheridienzelle a geteilt. D Prothalliumszelle und Stielzelle gehen allmählich zugrunde, das Antheridium a vergrößert sich und bildet die Spermatozoidmutterzelle. E und F Aus der Antheridienzelle sind zwei Spermatozoiden gebildet worden.

sterilen Laubblättern stehen, sind sie bei den Cycadeen auf besonderen unter sich verschiedenen Achsen zu Sporangienachsen vereinigt, den männlichen und weiblichen Blüten.

Wir haben nun zu verfolgen, welchen Entwicklungsgang, die aus den Mikro- und Makrosporen, den Pollenkörnern und Embryosäcken hervorgehenden Geschlechtspflanzen durchlaufen

bis zur Bildung der Spermatozoiden und der Eizellen, welche beim Befruchtungsvorgang durch Verschmelzung den Keim für die neuen Sporenpflanzen liefern sollen.

Die Keimung der Mikrospore, des Pollenkorns, verläuft sehr einfach. Zumeist wird von der Zelle des Pollenkorns nach vorausgegangener Zellteilung eine kleine Zelle abgetrennt, die wir als vegetative Zelle des männlichen Vorkeims ansehen können. Sie bleibt ungeteilt und geht später zugrunde, ohne an der weiteren Entwicklung teilzunehmen. Die größere Zelle teilt sich weiter in zwei Zellen, von denen nur die eine, die sogenannte generative Zelle, an der Bildung von Spermatozoiden beteiligt ist. Die Antheridienzelle, d. h. diejenige Zelle, welche die Spermatozoiden liefert, geht durch eine weitere Teilung aus der generativen Zelle hervor, die sonach wiederum noch eine als Stielzelle bezeichnete vegetative Zelle abgibt. Eine Abgrenzung der Zellen gegeneinander durch feste Zellwände erfolgt indessen nicht, sie liegen vielmehr frei in der gemeinsamen Plasmamasse eingebettet. Der letzte Schritt in der Entwicklung des männlichen Vorkeims besteht endlich darin, daß die Antheridienzelle sich in zwei Spermatozoiden teilt, an welchen sich ein ganzer Kranz feiner Zilien ausbildet.

Noch mehr als beim Brachsenkraut erscheint hier die geschlechtliche Generation in der männlichen Pflanze vereinfacht. Es ist auch noch die Ausbildung einer Antheridienwand unterblieben, und die Zahl der Spermatozoiden auf zwei reduziert.

Die Makrospore, der Embryosack, keimt wie die Makrospore des Brachsenkrautes, indem sich durch fortschreitende Zellteilungen der Inhalt der Sporenzelle in einen vielzelligen Zellkörper umwandelt, der das weibliche Prothallium darstellt. An ihm entstehen Archegonien, die eine große Eizelle in ihrem Bauch einschließen. Der Hals dieser Archegonien besteht nur aus wenigen Zellen, die das empfängnisreife Ei an der Oberfläche des weiblichen Vorkeimes bedecken.

In früheren Zeiten, als man den Zusammenhang der Befruchtungsvorgänge bei den Blütenpflanzen und den Farnen noch nicht erkannt hatte, sah man die wesentliche Bedeutung des im Embryosack entstehenden Gewebes des weiblichen Vorkeimes darin, daß dasselbe in dem aus der Samenanlage später hervorgehenden Samen einen Nährstoffspeicher für den aus der befruchteten Eizelle erwachsenden Embryo darstelle. Man be-

zeichnete dieses Gewebe deshalb in Analogie mit dem Nahrungsvorrat im Vogelei als Sameneiweiß oder Endosperm. Diese Bezeichnung ist auch heute noch in Gebrauch, obwohl, wie wir sehen werden, das Nährgewebe für den Embryo in anderen Gruppen der Blütenpflanzen auch anderen Ursprungs sein kann, so daß also unter Endosperm nicht immer zugleich auch ein weiblicher Vorkeim verstanden werden darf.

Die Befruchtung erfolgt auch bei den Cycadeen dadurch, daß ein Spermatozoid mit der Eizelle zu einer Keimzelle verschmilzt. Der Vorgang wird aber durch die besonderen äußeren Umstände, unter denen sich die männlichen und weiblichen Vorkeime befinden, etwas kompliziert. Der weibliche Vorkeim ist in dem Gewebekörper der Samenanlage eingeschlossen. Dieser Gewebekörper, der als Nucellus bezeichnet wird, ist von einer mantelartigen, teilweise mit ihm verwachsenen Hülle, dem Integument umschlossen, welche nur einen engen, kanalartigen Zugang zu dem Nucellus und dem in ihm eingeschlossenen weiblichen Vorkeim mit den Eizellen freiläßt. Die Pollenkörner, in denen der rudimentäre männliche Vorkeim mit dem Spermatozoiden entsteht, werden räumlich getrennt von den Samenanlagen in den männlichen Blüten eines anderen Pflanzenstockes gebildet. Sie sind sehr zahlreich und können bei ihrer Reife vom Winde auf die weiblichen Blüten benachbarter Stöcke und bis an die Samenanlagen übertragen werden. Der Transport der Pollenkörner durch den vom Integument gebildeten kanalartigen Zugang zu dem Nucellus, der den weiblichen Vorkeim einschließt, erfolgt in einer sehr eigentümlichen Weise. An der Stelle, wo dieser Kanal, der als Mitropyle bezeichnet wird, innen vor dem Nucellus mündet, entsteht ein erweiterter Hohlraum dadurch, daß einige Zellen des Nucellus zu einem schleimigen Tropfen verquellen. Durch Wasseraufnahme aus dem Nucellusgewebe vergrößert sich die Schleimmasse und dringt schließlich als Tropfen durch die Mitropyle nach außen. Die vom Wind herbeigetragenen Pollenkörner haften leicht an dem schleimigen Tropfen und werden, wenn derselbe nach einiger Zeit durch Verdunstung seinen Umfang verringert, mit der schwindenden Flüssigkeit durch den Mitropylkanal hineingezogen und in den gebildeten Hohlraum, die Pollenkammer, übertragen. Dort liegen nun zwar die Pollenzellen schon in nächster Nähe der Archegonien, welche ausnahmslos an dem

der Mütterspore zugekehrten Ende des weiblichen Fortsatzes stehen. Um aber die Spermatozoiden, welche aus der generativen Zelle der Pollenkörner hervorgehen, mit den Eizellen der Archegonien in direkte Berührung treten zu lassen, ist immerhin noch ein Zwischenraum zu überwinden, der von dem erhalten gebliebenen

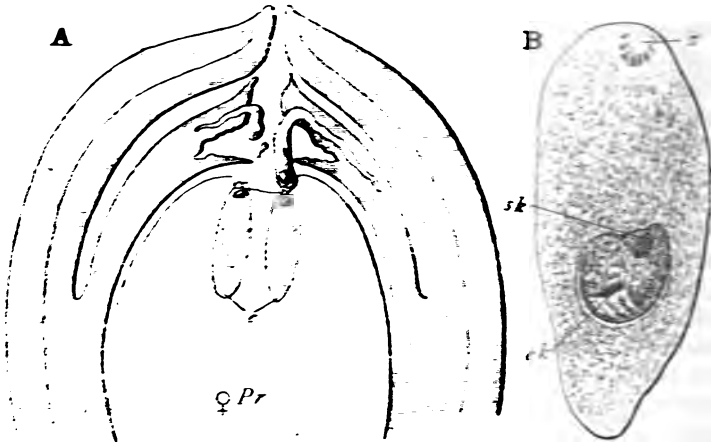


Abb. 19. A Längsschnitt durch den oberen Teil der Samenanlage einer Cycadee vergrößert. Der Nucellus, welcher von einem Integument oben mantelartig umhüllt wird, schließt einen großen Embryosack ein, in dem sich ein weibliches Prothallium ♀ Pr mit den durch die großen Eizellen e repräsentierten Archegonien gebildet hat. Oberhalb der Archegonien ist das Gewebe des Nucellus geschrumpft und zerrissen. In dem dadurch entstandenen Hohlraum p sind zwei Pollenkörner sichtbar, deren kernhaltiges Ende gegen die Eizellen vordringt. B. Eine befruchtete Eizelle stärker vergrößert (nach Webber). Der Spermatozoidkern sk verschmilzt mit dem Eikern ek. Der Zilienfranz z des Spermatozoids ist nahe an der Stelle des Eindringens im Protoplasma der Eizelle zurückgeblieben.

Scheitelgewebe des Nucellus und von den Halszellen der Archegonien ausgefüllt ist.

Bei den Farnen sahen wir die Überwindung des Zwischenraumes dadurch bewirkt werden, daß ein Wassertropfen zwischen den schwimmenden Spermatozoiden und dem Archegonium eine gangbare Verbindung herstellt. Dieser Weg ist hier ausgeschlossen, da die Samenanlagen vor Tau und Regen geschützt zwischen den Zapfenschuppen der weiblichen Blüten geborgen sind. Die Anziehung, welche zwischen den Geschlechtszellen be-

sieht, macht sich indes auch hier geltend. Die vegetative Zelle des Pollentorns bildet einen Schlauch, der in das Gewebe am Scheitel des Nucellus eindringt. Die Bildung dieses Pollenschlauches tritt bereits ein, bevor noch die generative Zelle in dem Pollentorn zur Ausbildung der Spermatozoiden geschritten ist. Der freie Teil der Pollenzelle, in dem die generativen Zelle liegt, wird durch das Wachstum des Pollenschlauches abwärts gedrängt, so daß sich die Spitze desselben dicht an die Halszellen eines Archegoniums anpreßt und durch dieselben mit dem Ei direkt in Berührung tritt. In dieser Lage durchläuft dann die generative Zelle ihren letzten Entwicklungsschritt, sie teilt sich in zwei Zellen, welche die Gestalt der Spermatozoiden annehmen. Eines der Spermatozoiden tritt aus der sich öffnenden Spitze der Schlauchwand durch den Archegonienhals in das Protoplasma der Eizelle ein. Die Verschmelzung der beiden Kerne vollendet dann die Befruchtung.

Für die Pollenschlauchbildung finden wir bei den Farnkräutern und dem Brachsenkraut keinen entsprechenden Vorgang, sie stellt eine Ueinerung dar. Das eigentliche Wesen des Befruchtungsvorganges, die Verschmelzung der beiden Sexualzellen zum Keim wird dadurch nicht berührt. Die Bedeutung dieser Neubildung für den Befruchtungsvorgang liegt wesentlich darin, daß dieser durch sie von dem Vorhandensein von Wasser unabhängig gemacht wird. Der weibliche Vorkeim braucht auf dieser Entwicklungsstufe nicht mehr mit einem Aufwand an vegetativem Gewebe ein selbständiges Pflänzchen zu bilden, wie bei den Farnen, oder wie beim Brachsenkraut den Zufälligkeiten ausgesetzt zu sein, die bei seiner freien Entwicklung im Wasser seinen Bestand bedrohen und die Sicherheit des Fortpflanzungsprozesses beeinträchtigen. Er bleibt im Schutz der Sporenpflanze und durchläuft seine Entwicklung von der Sporenkeimung bis zur Eibildung in Kürze mit Ersparung aller den Bedürfnissen des selbständigen vegetativen Lebens angepaßten Entwicklungsphasen. Unserer direkten Beobachtung entwindet dadurch die Geschlechtspflanze immer mehr und wenn wir jetzt zurückblicken, so zeigt sich das gegenseitige Verhältnis von Geschlechtspflanze und Sporenpflanze gänzlich umgekehrt. Bei *Aiccia* war die 2x-Generation repräsentiert durch einen im Gewebe der selbständig lebenden Geschlechtspflanze eingebettet, von diesem ernährte Zellkomplex, der, abgesehen von einigen

schnell vergänglichen Wandzellen, in Sporen aufgeteilt wird. Bei den Cycadeen ist die 2x-Generation eine mächtig entwickelte selbständige Pflanze, die Geschlechtspflanze aber tritt uns entweder in Gestalt weniger Zellen im Innern einer staubfeinen Pollenzelle entgegen, oder sie bildet einen ganz in das Innere gewisser Organe der Sporenpflanze versenkten und von dieser in seiner Ernährung gänzlich abhängigen Zellkomplex.

Der Entwicklungsgang der Cycadeen zeigt noch in einer anderen Beziehung einen auffälligen Unterschied gegenüber den Moosen und farnartigen Gewächsen. Bei diesen werden die reisenden Sporen mit derben, mehrschichtigen Häuten umhüllt, welche die bei der Reife freierwerdende Sporenzelle gegen äußere Unbilden panzern, und sie auch instand setzen, eine der Keimung ungünstige Periode ohne Schaden zu überstehen. Die Cycadeen zeigen die Ausbildung einer solchen Sporenhaut nur bei den Pollenkörnern, die ja auch auf ihrer Reise von der Entstehungsstelle bis zu der Pollenkammer einer Samenanlage eines Schutzes bedürfen. Die Mikrospore dagegen ermangelt einer solchen Sporenmembran und damit auch der Befähigung in ihrem Entwicklungsgange vor der Keimung eine längere Ruheperiode durchzumachen. Ihre Ausbildung schreitet Zug um Zug mit der Entwicklung der Samenanlage voran. Ihrer Anlage folgt die Keimung ungesäumt. Dagegen ist an einer anderen Stelle in der Lebensführung der Cycadeen von Generation zu Generation eine zeitweilige Unterbrechung des Entwicklungsganges eingeschaltet. Wenn durch den Befruchtungsvorgang eine Eizelle in einer Samenanlage zur Weiterentwicklung angeregt worden ist, so treten gleichzeitig auch in den Geweben der Samenanlage Veränderungen ein, welche eine oft mit beträchtlichem Wachstum verbundene Umwandlung des Integumentes und des Nucellargewebes zu einer derben Hülle zur Folge haben. Der heranwachsende Embryo verdrängt einen Teil der Vorkeimzellen, deren organische Bestandteile ihm zur Nahrung dienen. Ein anderer Teil wird zum Magazin für die Aufspeicherung von Nährstoffen für spätere Entwicklungsphasen. Auf diese Weise geht aus der befruchteten Samenanlage ein Same hervor, der von einer festen Samenschale umschlossen einen Embryo und einen Vorrat an organischer Nahrung, Sameneiweiß oder Endosperm enthält. Während der Entwick-

lungsgang der jungen Pflanze und der sie einschließenden Samenanlage bis zu diesem Stadium ganz von der Mutterpflanze abhängig war, löst sich der reife Same aus dem Verbande mit der Mutterpflanze, der eingeschlossene Embryo gewinnt damit seine Selbstständigkeit. Zunächst bleibt er allerdings in der zur Erhaltung seiner Lebensprozesse nötigen Ernährung noch auf die im Endosperm aufgespeicherten Stoffe angewiesen, er verbleibt auch vorerst noch im Schutze der aus einem Teil der Mutterpflanze hervorgegangenen Samenschale und vermag im Innern derselben eine Ruheperiode zur Überwindung ungünstiger äußerer Bedingungen lebend zu überstehen. Später keimt dann der Same, der eingeschlossene Embryo wächst unter Wasseraufnahme; er sprengt die Hülle und streckt seine bereits angelegten Organe, die Wurzel, die ersten Blätter, die Sproßspitze, hervor. Sind die äußeren Umstände seiner Entwicklung günstig, so gedeiht er zu einem festen im Boden wurzelnden Baum, der wiederum männliche oder weibliche Blüten hervorbringen kann.

Die Samenbildung ist, wie diese Schilderung zeigt, eine Einrichtung, die für die Erhaltung der Art von hervorragender Bedeutung ist; für die Deutung der Vererbung aber kommt sie nicht weiter in Betracht, da ja die Keimung des Samens nichts anderes darstellt, als die Fortentwicklung der jungen 2x-Pflanze, die mit dem durch die Befruchtung entstehenden Keim ihren Anfang genommen hatte.

Die Verarmung der Geschlechtsgeneration, welche darin zum Ausdruck kommt, daß der männliche Vorkeim nur noch zwei Spermatozoiden erzeugt, und die weitgehende Umwandlung von Keimzellen des Makrosporangiums, welche dahin führt, daß nur noch eine einzige Sporenmutterzelle im Makrosporangium die Reduktionsteilung erfährt und daß nur eine einzige Makrospore gebildet wird, könnte zunächst gegenüber der großen Anzahl von Spermatozoiden, die ein farnkeim hervorbringt und gegenüber dem Reichtum an Makrosporen, den wir noch im Makrosporangium des Brachsenkrautes antrafen, als eine ungünstige Veränderung erscheinen insofern, als die Wahrscheinlichkeit des Zusammentreffens von Spermatozoid und Ei von der Zahl der möglichen Fälle abhängig ist. Aber diese scheinbare Beeinträchtigung der Sicherheit des Befruchtungsvorganges besteht nur, solange wir unser Augenmerk auf den einzelnen Vorkeim und das einzelne Sporangium beschränken, sie wird

mehr als aufgehoben dadurch, daß die kräftige Entwicklung und die lange Lebensdauer der Sporenpflanze die Hervorbringung einer ungeheuren Menge von einzelnen Mikro- und Makrosporangien ermöglicht.

Den Cycadeen ähnlich verhalten sich die Nadelholzgewächse oder Koniferen, unsere Tannen, Fichten, Kiefern, Lärchen, Wachholder und Eiben und die ihnen verwandten Typen anderer Weltgegenden. In ihrer äußeren Erscheinung sind sie wohl von den Cycadeen sehr wesentlich verschieden. Statt des einfachen Stammes treffen wir bei ihnen ein reiches Verzweigungssystem, das auf einem hohen Stamm eine stattliche Krone bildet

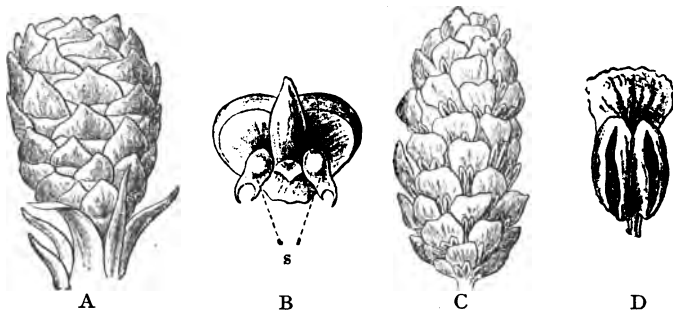


Abb. 20. Die Blüten der Nadelholzgewächse (aus Giesenhagen, Lehrbuch der Botanik). A Zapfenartige weibliche Blüte der Kiefer. B einzelne Zapfenschuppe mit zwei Samenanlagen s. C Zapfenartige männliche Blüte der Fichte. D Einzelne Zapfenschuppe mit zwei Pollensäcken.

oder einen mehr strauchartigen Wuchs aufweist; statt der großen palmwedelartigen Blätter bilden nadelförmige Assimilationsorgane eine üppige Belaubung. Aber schon der Bau der Blüten läßt den gleichen Grundplan in beiden Gewächsgruppen erkennen. Die Blüten der Nadelholzgewächse sind wie diejenigen der Cycadeen zapfenartig gestaltet. Der wissenschaftliche Name Koniferen bedeutet Zapfenträger. Die männlichen Blüten tragen an ihren Zapfenschuppen Pollensäcke, in denen durch die regelmäßige Vierteilung der Pollenmutterzellen reichlich Blütenstaub gebildet wird. Die weiblichen Blüten, die hier häufig neben den männlichen an demselben Stamm stehen, tragen an ihren Schuppen die Samenanlagen mit Integument und Mikropyle, in denen aus dem Rest eines sporogenen Gewebes als

einzigste entwicklungsfähige Matrospore ein Embryosack hervor-
geht, dessen Kern bei den seiner Entstehung vorausgehenden
Kernteilungsschritten nur die halbe Zahl von Chromosomen
empfängt. Auch die Entwicklung des weiblichen Vorkeimes
verläuft in der gleichen Weise wie bei den Cycadeen. Es bildet

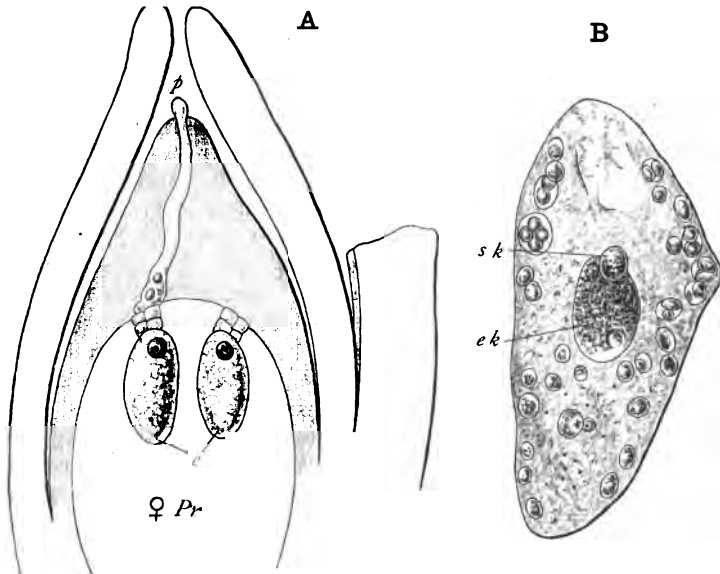


Abb. 21. A Längsschnitt der Samenanlage einer Konifere vergrößert (halbschematisch). Der in der Figur schraffierte Nucellus wird von einem Integument umhüllt. In dem von ihm eingeschlossenen Embryosack (Matrospore) hat sich ein weibliches Prothallium ♀ Pr. gebildet, in dem oben zwei Archegonien mit Eizellen e sichtbar sind. In der Pollenkammer p ist ein Pollenkern gekeimt, dessen Pollenschlauch mit seiner die Spermakern bergenden Spitze bis zu den Hals des einen Archegoniums vorgedrungen ist. B Befruchtete Eizelle stärker vergrößert. Spermakern sk und Eikern ek sind im Begriff zu verschmelzen.

sich in dem im Gewebe der Samenanlage geborgenen Embryo-
sack ein vielzelliger Gewebeförper aus, dessen von dem Embryo-
sackkern abgeleitete Kerne alle nur x Chromosomen aufweisen.
Die Archegonien werden an dem zur Mikropyle gewendeten
Scheitel des weiblichen Vorkeimes in geringer Anzahl gebildet.

Ihre großen Eizellen sind von einigen Halszellen überdeckt. Von der unter der Mikropyle sich bildenden Pollenkammer werden auch hier die empfängnisreifen Eizellen durch eine Schicht von Nuccellargewebe getrennt.

Der für die Befruchtung erforderliche Transport der Pollenkörner zu den Samenanlagen wird auch bei den Nadelholzgewächsen durch den Wind besorgt. Die Flugfähigkeit der Koniferenpollen ist in manchen Fällen noch dadurch erhöht, daß die äußerste Schicht der Sporenwand sich in Gestalt zweier lufthaltiger Blasen von der eigentlichen Pollenzelle abhebt. Durch diese Einrichtung wird der Blütenstaub bei günstigen atmosphärischen Bedingungen längere Zeit schwebend erhalten. In Sommern, in denen wie im Jahre 1906 auf der Bayerischen Hochebene die Fichten reichlich blühen, findet man wohl nach einem Gewitterregen die eintrocknenden Pflügen auf der Straße von einem breiten schwefelgelbem Saum umgeben. Im Volke spricht man dann von einem Schwefelregen. Der gelbe Niederschlag besteht indessen nicht aus Schwefel, sondern aus Millionen und aber Millionen von Pollenkörnern, die vom Winde in höhere Luftschichten emporgetragen und durch die schweren Regentropfen zur Erde zurückgebracht worden sind.

Auf der weiblichen Blüte empfängt den angeflogenen Blütenstaub vor jeder Samenanlage ein aus der Mikropyle hervortretender Flüssigkeitstropfen, der sich eine Zeitlang, wenn die Bestäubung ausbleibt, von innen her ergänzt, aber alsbald eingesogen wird, sobald er mit dem Blütenstaub in Berührung gekommen ist. Er transportiert die Pollenkörner in die Pollenkammer.

In den dorthin gelangten Mikrosporen ist inzwischen schon die Keimung, d. i. die Entstehung der männlichen Geschlechts-pflanze eingeleitet worden. Sie verläuft bei Fichten, Tannen und ihren nächsten Verwandten in ähnlichen Zellteilungsvorgängen wie bei den Cycadeen. Nachdem einige wenige kleine und leicht vergängliche vegetative Zellen von der Pollenzelle abgetrennt worden sind, wird eine generative Zelle gebildet, die später die männlichen Gameten liefert, während die sie einschließende vegetative Zelle zum Pollenschlauch auswächst. Bei dem Wachholder und seiner Sippe zeigt sich der männliche Vorkeim noch mehr vereinfacht, es gehen aus der Pollenzelle zunächst überhaupt nur zwei Zellen hervor, die eine derselben,

die vegetative Zelle, welche zum Schlauch auswächst, repräsentiert in sich den ganzen männlichen Vorkeim, die zweite Zelle das ganze Antheridium. Dieses teilt sich später in eine kleine vegetative Zelle und eine generative Zelle, die Mutterzelle der beiden männlichen Gameten.

Die generative Zelle im Pollenkorn der Koniferen wird durch den Pollenschlauch an die Eizelle geführt. In der Spitze des Pollenschlauches teilt sie sich in die beiden Befruchtungszellen, die hier zu ihrer Übertragung in die Eizelle der eigenen Beweglichkeit nicht mehr bedürfen. Die Ausbildung der Zilien unterbleibt, so daß die männlichen Gameten hier nicht mehr die

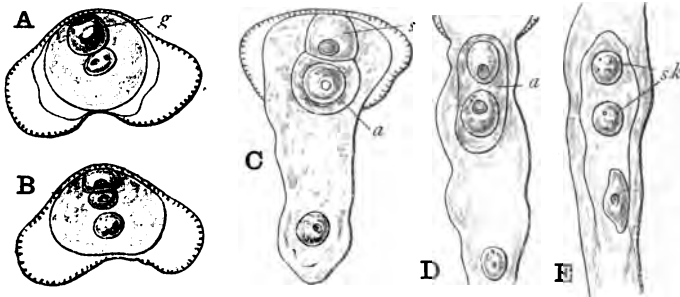


Abb. 22. A—G Die Entwicklung der männlichen Gameten im Pollen der Fichte stark vergrößert (nach Miyake). g Generative Zelle, a Antheridienzelle, sk die aus dem Kern der Antheridienzelle hervorgegangenen beiden Spermakerne, welche die männlichen Gameten darstellen.

gewohnte Gestalt der Spermatozoiden zeigen. Man bezeichnet sie, um diese Eigentümlichkeit im Namen anzudeuten, als Spermazellen oder kurz als Sperma.

Im wesentlichen bestehen die Spermazellen aus einem Zellkern, dem Spermafern, und aus einer dünnen Plasmahaut, die aber gegen das Plasma des Pollenschlauches nicht scharf abgegrenzt ist.

Der Übertritt eines Spermafernes in die Eizelle leitet den Vorgang der Zellverschmelzung ein, den wir als das wesentlichste Moment der Befruchtung ansehen müssen. Durch ihn wird ein Keimkern mit der doppelten Chromosomenzahl gebildet und zugleich der Anstoß zu der Weiterentwicklung gegeben, die aus der Eizelle einen Embryo hervorgehen läßt und die Um-

bildung des Gewebes der Samenanlage mit ihrem Integument zur Samenschale veranlaßt.

Nach der Ausreifung des Samens unterbricht die Samenruhe den Entwicklungsgang des Embryos. Durch die Lösung des Samens von der ihn tragenden Zapfenschuppe wird die Aussaat ermöglicht. Bei der Samenkeimung nimmt der Embryo den abgebrochenen Entwicklungsgang wieder auf. Er tritt nach Durchbrechung der Samenschale als wurzelnde Keimpflanze hervor, entfaltet die bereits angelegten Keimblätter und ernährt sich, nachdem der im Endosperm des Samens abgelagerte Nahrungsvorrat aufgebraucht ist, durch eigene Assimilation. Eine vieljährige Entwicklung unter ausgiebiger Vermehrung der Vegetationspunkte und aller vegetativen Organe läßt aus der Keimpflanze den stattlichen Baum hervorgehen, der wiederum männliche und weibliche Blüten trägt, in denen die Ausbildung neuer Pollenkörner und neuer Samenanlagen die Wiederholung des Befruchtungsvorganges ermöglicht.

Verfolgen wir, um das für die Vererbung wesentliche hervorheben zu können, noch einmal kurz das Schicksal der Erbmasse bei der Aufeinanderfolge der Generationen an einem konkreten Beispiel. Zwei Fichtenbäume, die im Walde nebeneinander stehen, mögen das Ehepaar darstellen, dessen Eigenschaften im Erbgang auf eine Nachkommenschaft übertragen werden sollen. Beide Bäume befinden sich im blühbaren Alter, das bei den Fichten in der Regel nicht vor dem fünfzehnten Lebensjahre eintritt. Im übrigen kann das Lebensalter der beiden um ein Jahrhundert oder selbst um einige Jahrhunderte verschieden sein. Sie sind aus Samen erwachsen, die der Zufall oder die Tätigkeit einer Forstverwaltung aus verschiedenen Himmelsrichtungen her zusammengeführt hat. Kein Wunder, daß die beiden Ehegatten bei der Verschiedenheit ihres Alters und ihrer Herkunft individuelle Unterschiede aufweisen, die allerdings nicht so groß sind, daß dadurch der gleiche Artcharakter verloren geht, die aber immerhin groß genug sind, um der Aufmerksamkeit des geschulten Beobachters nicht zu entgehen. Die Stellung der Äste und Zweige, die Üppigkeit der Benadelung, die durchschnittliche Länge der Nadeln, die Reichlichkeit der Verzweigung und andere rein äußerliche Merkmale mehr, zeigen nicht selten bei Bäumen der gleichen Art, die nebeneinander im gleichen Erdreich und unter gleichen klimatischen Be-

dingungen wachsen, wesentliche Verschiedenheiten, die der Gesamtgestalt des einzelnen Baumes einen deutlichen individuellen Charakter verprägen. Die Charakterverschiedenheiten der beiden nebeneinanderstehenden Bäume, deren Schicksal wir verfolgen, beruhen auf der Verschiedenheit ihrer erblichen Veranlagung, die sie in ihrem Keim von ihren Eltern empfangen haben. Die körperlichen Träger der erblichen Veranlagung, die 2 x Chromosomen des Keimkernes sind von der ersten Entwicklung an von Zelle zu Zelle fortgegeben worden und haben dabei ihre Individualität nicht eingebüßt. Wir finden sie in gleicher Zahl und Organisation in allen Zellen, die ihre Keimnatur bewahrt haben, demnach auch in den Pollenmutterzellen der männlichen und in den Embryosackmutterzellen der weiblichen Blüten. Bei der Entstehung der Pollenkörner aus den Pollenmutterzellen wird die Erbmasse in zwei Teile geteilt, indem die im Keimkern vereinigten Chromosomen der Geschlechtszellen sich wieder voneinander trennen. Die dabei entstehenden Kerne mit einfacher Chromosomenzahl sind einander ähnlich, sie enthalten artgleiche Erbmassen, denen wohl auch noch ein Teil ihrer individuellen Verschiedenheiten bei der der Chromosomenreduktion vorausgehenden Verschmelzung des Doppelfadens im Kerngerüst ausgeglichen worden sind.

Das gleiche gilt von den Embryosäcken, nur mit dem Unterschiede, daß von den beiden Teilen der in der Mutterzelle vereinigten Erbmassen, nur der eine erhalten bleibt. Wenn wir nun das weitere Schicksal all der vielen Tausende und aber Tausende von Pollenzellen und Embryosäcken, welche in einem Sommer an den beiden Fichteneltern entstehen, zugleich verfolgen wollten, so würden wir uns dadurch die Übersicht über die Geschehnisse bei der Befruchtung außerordentlich erschweren. Wir beschränken uns deshalb auf den Embryosack einer einzigen Samenanlage, die bestäubt und befruchtet worden ist und auf dasjenige einzige durch den Wind vom Nachbarbaum herzugebrachte Pollenkorn, welches die Bestäubung bewirkt hat. In Beziehung auf diesen einzigen Fall können wir den Baum, der das Pollenkorn lieferte, als den Vater des aus der Samenanlage zu erwartenden Nachkommen bezeichnen; der Baum, der die Samenanlage trägt, ist die Mutter.

Der Embryosackkern der Samenanlage enthält in seinen x Chromosomen das Erbgut der Mutter und gibt dasselbe bei

der Vorkeimbildung weiter bis in die Eizellen der Archegonien. Der Pollenkern bringt in seinen x Chromosomen die Erbträger der väterlichen Eigenschaften mit, die wohl mit denjenigen der Mutterpflanze in allen wesentlichen die Art charakterisierenden Punkten übereinstimmen, aber doch individuelle Verschiedenheiten aufweisen können. Auch der Pollenkern gibt das Erbgut weiter an die beiden aus ihm hervorgehenden Spermatkerne. Im Befruchtungsvorgang vereinigen sich eine Eizelle und eine Spermazelle. Ihre Kerne, die Erbträger der mütterlichen und der väterlichen Eigenart verschmelzen, so daß der Keimkern in seinen $2x$ Chromosomen das Erbgut der Mutter und des Vaters gemischt enthält.

Der Keimkern gibt das Erbgut weiter an die Kerne des Embryos, und alle Zellen des jungen Fichtenbäumchens, welches aus dem gereiften Samen hervorkeimt, zeigen das gleiche Gemisch väterlichen und mütterlichen Erbes in ihren Kernen. Da Vater und Mutter artgleich waren, so wird mit ihrem gemeinsamen Erbe auch dem Nachkommen in Entwicklungsgang und Formgestaltung der gleiche Artcharakter aufgeprägt. Die individuellen Verschiedenheiten aber der väterlichen und der mütterlichen Chromosomen, die mit auf den Spermatkern und auf den Eikern übertragen worden sind, finden sich in dem Keimkern gemischt. Ihre gegenseitige Beeinflussung, ihre Wechselwirkung in dem Lebensgang der einzelnen Zelle, in dem Entwicklungsverlauf der Gewebe, in der Anlage und Ausbildung der Organe verleihen dem heranwachsenden Baum diejenigen besonderen Eigenschaften, die gegenüber seinen unter gleichen Umständen heranwachsenden Artgenossen seinen individuellen Charakter ausmachen.

Die Erwägungen, die wir hier für einen einzigen Nachkommen durchgeführt haben, können wir für alle andern auch gelten lassen. Es wird dabei dadurch nichts geändert, daß derselbe Baum, welcher in einem Falle Vater war, im anderen Mutter ist, und die Bestäubung der Samenanlagen auch von anderen artgleichen Bäumen ausgehen kann, wie auch der Blütenstaub auf anderen artgleichen Bäumen die Bestäubung ausführen kann. Alle Nachkommen erben also von den Eltern die Artnatur und daneben eine gewisse Individualität, die aus der Mischung des väterlichen und mütterlichen Erbes resultiert.

Kapitel V.

Der Befruchtungsvorgang bei den Angiospermen und das Verhalten der erblich übertragbaren Merkmale.

Die Cycadeen und die Nadelholzgewächse, deren Befruchtungsvorgang wir im letzten Kapitel kennen gelernt haben, werden mit einem gemeinsamen Namen als die nacktsamigen Blütenpflanzen oder Gymnospermen bezeichnet, weil bei ihnen die Samenanlagen frei auf der Oberfläche der Zapfenschuppen der weiblichen Blüten stehen. Bei den bedecktsamigen Blütenpflanzen, zu denen unsere Laubbäume und -sträucher und alle blühenden Stauden und Kräuter gehören, finden wir die Samenanlage dagegen eingeschlossen in den Hohlräumen eines als Fruchtknoten bezeichneten grünen Gewebekörpers, inmitten der Blüte. Der Fruchtknoten besteht aus einem oder mehreren Blättern, Fruchtblätter genannt, welche mit ihren Rändern oder mit ihren Unterflächen derart vereinigt sind, daß sie einen oder mehrere Hohlräume, die Fruchtknotenfächer, bilden. Die Fruchtblätter entsprechen den Zapfenschuppen der weiblichen Gymnospermenblüten, an ihnen entstehen im Innern des Hohlraumes in Ein- oder Mehrzahl die Samenanlagen, welche wie diejenigen der Gymnospermen aus einem den Embryosack einschließenden Samentnospenkern oder Nucellus bestehen, der außen von einem oder zwei Integumenten umhüllt wird und deshalb nur durch den engen Kanal einer Mikropyle von außenher zugänglich ist.

Der Fruchtknoten kann für sich allein an einer Sproßachse stehend oder auch von einigen sterilen Blättern umhüllt, eine weibliche Blüte bilden, und ebenso können auch männliche Blüten aus einer Gruppe von Staubblättern gebildet werden, die wie die Zapfenschuppen der männlichen Gymnospermenblüte Pollensäcke tragen, in denen Blütenstaub entsteht. In der Mehrzahl der Fälle aber treffen wir an der Blütenachse der Angiospermenblüte beiderlei Organe, Staubblätter und Fruchtknoten nebeneinander an. Statt der getrennten männlichen und weiblichen Blüten treten Zwitterblüten auf, die beide Geschlechter in sich vereinigen. Und noch in einer anderen Beziehung weichen in der Regel die Angiospermenblüten von der Gymnospermenblüten ab, sie haben außer den Staub- und Frucht-

blättern noch eine Blütenhülle aus eigentümlich gestalteten und oft durch auffällige Färbung ausgezeichneten Blättern, die weder Pollensäcke noch Samenanlagen tragen.

Demnach finden wir in einer vollständigen Angiospermenblüte dreierlei Blattgebilde an der Blütenachse vereinigt, zu äußerst die Blütenhüllblätter, darauf die Staubblätter und zu innerst die zu einem oder auch zu mehreren Fruchtknoten vereinigten Fruchtblätter. Nehmen wir z. B. eine einfache, nicht-gefüllte Tulpenblüte zur Hand, so sehen wir an derselben zunächst von außen nur eine Anzahl, in der Regel sechs große, farbige Blätter, die glockenförmig zusammenschließend die inneren Blütenteile umhüllen. Entfernen wir die Blütenhülle, so werden sechs Staubblätter sichtbar, die stabförmig gestaltet sind und an ihrem oberen Ende die zu einem kolbenförmigen, gelben Körper, der Anthere vereinigten Pollensäcke tragen. Inmitten der Staubblätter steht ein grüner, dreikantiger Körper, dessen Kanten an seinem oberen Ende in drei schneckenförmig gewundene, gelbe Lappen auslaufen. Dieser Körper ist der Fruchtknoten, der aus drei miteinander verwachsenen Fruchtblättern zusammengefügt ist. Durchschneiden wir ihn quer, so finden wir drei der Länge nach nebeneinander angeordnete Fruchtknotenfächer, in denen eine Anzahl kleiner, weißer Körper, die Samenanlagen, dem bloßen Auge noch eben erkennbar ist.

Form und Farbe, Zahl und Stellung, und die Art der Aneinanderfügung der Blütenteile, sind für die einzelne Pflanzenart konstant. Sie wechseln aber in den verschiedenen Abteilungen der Angiospermen in der mannigfaltigsten Weise. Darauf beruht die wechselvolle Vielgestaltigkeit, der Formenreichtum, der uns in den Blüten der Bedecktsamigen entgegentritt. Für das Zustandekommen des Befruchtungsvorganges ist zunächst nur das Vorhandensein von Staubblättern, welche Blütenstaub und von Fruchtblättern, welche Samenanlagen einschließen, von wesentlicher Bedeutung. Diese wesentlichen Blütenteile entwickeln sich im Schutz der sie in der Knospenlage umschließenden Blütenhülle. Die Pollenmutterzellen, die in den Pollensäcken der Staubblätter eingeschlossen sind, liefern je vier Pollenzellen, deren Kerne infolge der beim ersten Kernteilungsschritt eintretenden Chromosomenreduktion die einfache Chromosomenzahl besitzen. Der Kern der Embryosackmutterzelle in den Samenanlagen macht gleichfalls die Reduktionsteilung durch,

aber nur einer von den mit einfacher Chromosomenzahl versehenen Abkömmlinge dieses Kerns wird zum Embryosackkern. Wir treffen also auch hier wie bei den Gymnospermen wieder nur eine einzige entwicklungsfähige Makrospore, in dem Makrosporangium, der Samenanlage, an.

Die Pollenkörner und die Embryosäcke bilden den Anfang dessen, was wir bei den Moosen und Farnen als die Geschlechts- pflanze oder die 2-x-Generation bezeichnet haben. Aber wenn wir bei den Gymnospermen, wenigstens in dem aus dem Embryo- sack hervorgehenden Gewebekörper noch den Vergleich mit den weiblichen Vorkeim des Brachsenkrautes aufrecht erhalten konnten, so verschwindet hier die letzte Andeutung und wir sind in Zweifel, welche Rolle wir den wenigen aus der Embryosackzelle der Angiospermen hervorgehenden Zellen beimessen sollen, um noch etwas wie den Rest eines weiblichen Vorkeimes daraus zu konstruieren.

Der Entwicklungsgang, den der Embryosack einschlägt, ist kurz der folgende. In der im Gewebeverbande des Samensprosskerns heranwachsenden Zelle ist zunächst ein Kern, eben der mit x Chromosomen ausgestattete Kern der Makrospore anzutreffen. Dieser Kern teilt sich typisch und seine Abkömmlinge teilen sich in der gleichen Weise weiter, bis im ganzen acht Kerne vorhanden sind, die frei in dem Protoplasma des Embryosackes liegen. Sie ordnen sich in zwei Gruppen zu je vieren, und nehmen eine bestimmte Stellung im Embryosack an. Die eine Kerngruppe sammelt sich in der Nähe der Wand an dem oberen, d. h. zur Mikropyle gerichteten Ende des Embryosackes, die andere liegt ihr gegenüber am unteren Ende. Aus jeder Gruppe löst sich nun ein Kern und wandert gegen die Mitte des Embryosackes hin, wo die beiden Kerne sich bis zur Berührung nähern. Diese beiden Kerne werden Polkerne genannt. Sie verschmelzen früher oder später zu einem einzigen Kern, dem sekundären Embryosackkern. Die dreizähligen Kerngruppen an den beiden Enden des Embryosackes werden zum Ausgangspunkt für je drei Zellen, indem jeder Kern sich mit Protoplasma umgibt, das sich durch eine Hautschicht gegen die Nachbarkerne und gegen das Protoplasma des Embryosackes abgrenzt. Es liegen sonach nunmehr an jedem Ende des Embryosackes je drei Zellen. Die drei Zellen am Mikropylende bilden den Eiapparat. Eine von ihnen, die gewöhnlich

durch ihre Größe vor den beiden andern ausgezeichnet ist, stellt das Ei dar, welches später durch die Befruchtung zum Keim wird, die beiden andern werden als Gehilfsinnen oder Synergiden bezeichnet. Die drei Zellen am entgegengesetzten Ende des Embryosackes heißen die Gegenfüßler oder Antipoden.

Mit der Bildung des befruchtungsreifen Eies schließt die Entwicklung des weiblichen Vorkeimes ab. Wenn wir also die Homologie der gebildeten Zellen mit denjenigen des weiblichen Vorkeims der Gymnospermen ergründen wollen, so müssen wir den nunmehr erreichten Zustand des Embryosackes zum Vergleich heranziehen.

Ein sicheres Vergleichsobjekt bildet allein die Eizelle, die wir als den Überrest eines Archegoniums ansehen müssen. In Bezug auf alle anderen Zellen sind wir auf Vermutungen angewiesen, die mehr oder weniger durch Analogieschlüsse gestützt werden können. Eine oft gehörte Auffassung ist die, daß die beiden Synergiden den rudimentären Hals des Archegoniums bilden, daß dagegen die Antipoden und die beiden in der Mitte des Embryosackes vereinigten Kerne den Überrest des vegetativen Gewebes darstellen. Eine andere Anschauung erblickt in den drei Antipodenzellen ein zweites rudimentäres Archegonium mit einer unentwickelten Eizelle und zwei Halszellen, und läßt nur die beiden freien Kerne als Rest des vegetativen Vorkeimgewebes gelten. Mir scheint eine dritte Deutung durch manche äußeren Umstände, besonders durch den Entwicklungsgang plausibel. Die erste Teilung des Embryosackes ergibt zwei ihrer Natur nach verschiedene Kerne, der eine liefert in den drei Antipoden und dem von ihnen abgesonderten Polkern nur vegetative Kerne, der andere liefert zwei Archegonienmutterzellen, die sich noch einmal je in eine Eizelle und in eine Halszelle teilen. Die eine der beiden Eizellen setzt sich mit den beiden Halszellen am Mitropylenende des Embryosackes als Eiapparat fest. Die andere Eizelle, oder vielmehr ihr Kern übt auf den vegetativen Polkern eine Anziehung aus, welche beide Kerne inmitten des Embryosackes vereinigt.

Eine besondere Stütze erhält diese Auffassung durch den Befruchtungsvorgang. In dem Pollenkorn wird wie bei den Koniferen eine generative Zelle von der vegetativen Pollenzelle abgetrennt. Die letztere wächst zum Pollenschlauch aus, der auf vorgebildeten Bahnen bis zu der Mitropyle der Samenanlage

und durch dieselbe bis in die Nähe des Eiapparates vordringt. Die in die Spitze des Pollenschlauches hinab wandernde generative Zelle liefert durch Teilung zwei Spermazellen, deren Kerne in den Embryosack übertragen werden. Der eine der beiden Spermakerne befruchtet das Ei, indem er mit dem Eikern zum Keimkern verschmilzt. Der andere Spermakern geht in vielen Fällen zugrunde. In einer großen Anzahl von Fällen kann man aber von einer Doppelbefruchtung sprechen; da der

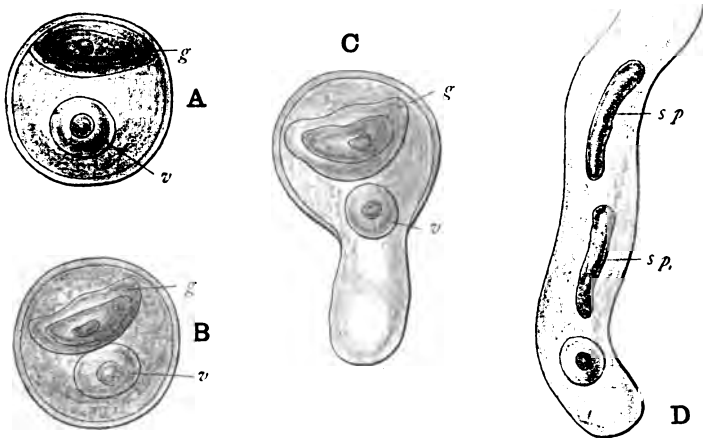


Abb. 23. A—D Entwicklung des Sperma im Pollen einer angiospermen Blütenpflanze. v vegetative, g generative Zelle sp und sp, die aus dem Kern der letzteren hervorgegangenen Spermakerne.

zweite Spermakern von der Polkernggruppe angezogen wird und sich mit ihr vereinigt. Die Einatur des einen Polkerns läßt dieses Verhalten des zweiten Spermakerns erklärlich erscheinen. Auch darin kann eine Stütze für die Auffassung des oberen Polkerns als Homologon eines zweiten Eikerns gefunden werden, daß dieser Kern, nachdem er mit dem vegetativen Polkern verschmolzen ist, einer weiteren Entwicklung fähig ist, die den vegetativen Zellen eines Vorkeimes nicht zukommt. Während die befruchtete Eizelle zum Embryo heranwächst, teilt sich der aus der Verschmelzung der Polkerne hervorgegangene sekundäre Embryosackkern lebhaft und liefert eine Vielzahl von Kernen, die sich im Protoplasma des Embryosackes verteilen. Sie wer-

den dort schließlich zum Anlaß für eine Zellbildung, durch welche das Zellplasma des Embryosackes in einen Gewebeförper umgewandelt wird. Dieser Gewebeförper, der als Endosperm bezeichnet wird, speichert in seinen Zellen Nährstoffe auf, welche dem heranwachsenden Embryo als Nahrung dienen und früher oder später ganz von ihm aufgezehrt werden.

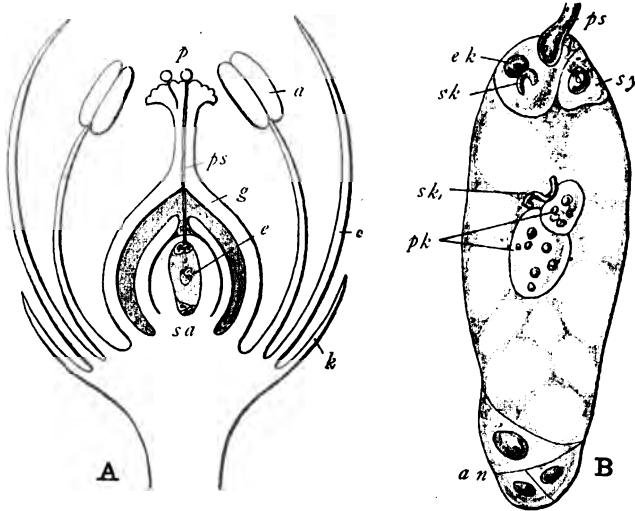


Abb. 24. A Längsschnitt einer Angiospermenblüte (Schema). k Kelch, c Blumenkrone, a Anthere, g Wand des Fruchtknotens, sa die im Hohlraum des Fruchtknotens eingeschlossene Samenanlage mit einem Integument. e Embryosack mit Eiapparat, Polkerngruppe und Antipoden. p Pollenkörner auf der Narbe des Fruchtknotens, ps Pollenschlauch. B Embryosack im Stadium der Befruchtung stark vergrößert (nach Guignard). an Antipoden. pk Polkerne. sy eine Synergide, ek Kern der Eizelle. ps Pollenschlauch, sk der in die Eizelle eingedrungene Spermakern, der zweite Spermakern, welcher sich mit den Polkernen vereinigt.

Das Verhalten der Erbmasse bei dem Befruchtungsvorgang der Angiospermen ist das gleiche wie bei den Gymnospermen. Der Kern der Pollenzellen wie der des Embryosackes geht durch eine Reduktionsteilung aus der Mutterzelle hervor hat also die einfache Chromosomenzahl. Bei der Befruchtung vereinigen sich die vom Pollenkern abstammenden väterlichen

Chromosomen des Spermaernes mit den vom Embryosacklern, abgeleiteten mütterlichen Chromosomen des Eifernes in einem Keimkern, der demnach wiederum doppelte Chromosomenzahl aufweist. Der Nachkomme empfängt in dieser Erbmasse die Artcharaktere, die dem Vater und der Mutter eigen waren und zugleich individuelle Eigenschaften, die aus der Mischung der väterlichen und mütterlichen Individualität resultieren.

Bei der Darstellung des Befruchtungsvorganges der Angiospermen ist bisher eine Frage unerörtert geblieben, die Frage nämlich, woher das Pollenkorn gekommen ist, dessen Pollenschlauch das Sperma auf die Eizelle der Samenanlage übertrug. Da bei vielen Angiospermen die Staubblätter in nächster Nachbarschaft des Fruchtknotens stehen, so liegt die Vermutung nahe, daß der Blütenstaub durch direkte Berührung der Staubblätter auf den Fruchtknoten übertragen werden könnte, daß also der Befruchtungsvorgang sich ganz innerhalb der einzelnen Blüte abspielt. In der Tat gibt es eine Reihe von Beispielen, in denen nachgewiesen werden konnte, daß der Fruchtknoten mit Pollen der eigenen Blüte erfolgreich belegt werden kann. Man spricht in solchen Fällen von Selbstbestäubung und Selbstbefruchtung. Viel häufiger aber findet sich die Fremdbestäubung als Regel, d. h. die Befruchtung erfolgt durch Blütenstaub, der von einer anderen Blüte her oder selbst von einem anderen Stock derselben Art auf den Fruchtknoten übertragen worden ist. Wir finden zahlreiche Einrichtungen im Bau und im Entwicklungsgang der Blüten, welche die Selbstbestäubung unmöglich oder doch unwahrscheinlich machen. Nicht selten entwickeln sich der Blütenstaub und der zur Aufnahme desselben bestimmte Teil des Fruchtknotens, die Narbe ungleichzeitig, so daß der Blütenstaub bereits fortgeführt ist, wenn die Narbe empfängnisfähig wird, oder daß umgekehrt die Narbe bereits mit fremdem Blütenstaub belegt worden ist, bevor der Blütenstaub der eigenen Blüte zur Verstäubung reif wird. In andern Fällen hindert die gegenseitige Stellung der Narbe und der Staubbeutel in der Blüte die direkte Übertragung, oder es sind Staubblätter und Fruchtknoten auf verschiedene Blüten oder selbst auf verschiedene Stöcke der Pflanzenart verteilt. Nicht minder wirksam wird die Selbstbefruchtung durch die Selbsterilität mancher Blüten verhindert, welche darin besteht, daß der Blütenstaub der eigenen Blüte auf der Narbe nicht die für die Ausbildung des Pollen-

schlauches nötigen Bedingungen findet, während der Pollen fremder Blüten derselben Art leicht zur Keimung kommt.

Die Überführung des Blütenstaubes von Blüte zu Blüte wird bei vielen Angiospermen ebenso wie bei den Cycadeen und Koniferen durch den Wind bewirkt. In vielen Fällen aber übernehmen geflügelte Insekten, Bienen, Hummeln, Schmetterlinge, Fliegen und selbst Vögel den Transport. Die Zahl der Baueinrichtungen der Blüten, welche damit in Zusammenhang stehen und also die Fremdbestäubung befördern, ist außerordentlich groß. Duftstoffe und schmackhafte Nahrung locken die Tiere an, auffallend gefärbte Blütenhüllblätter machen sie auf die Stellen aufmerksam, wo sie ihres Amtes zu walten haben. Gestalt und Stellung der Blütenteile nötigen sie zu Bewegungen oder Körperstellungen, durch welche sie in der einen Blüte mit dem Blütenstaub, in der andern mit der Narbe in Berührung kommen. Es würde uns weit von unserm Ziele ablenken, wenn wir auf diese an sich äußerst interessanten Dinge, die aber zu der Vererbungsfrage nur in entfernterer Beziehung stehen, hier näher eingehen wollten. Wir müssen uns mit dem Hinweis begnügen, daß die väterlichen und mütterlichen Erbmassen, welche im Keim vereinigt werden, nicht oder doch nicht immer von der gleichen Pflanze stammen, und daß die Nachkommen ihr Erbgut von zwei, wenn auch artgleichen, so doch individuell sehr verschiedenen Eltern empfangen können.

Bei der Übertragung des Blütenstaubes spielt trotz aller im Blütenbau gegebenen Schutzmaßregeln der Zufall eine gewisse Rolle und es kann nicht ausbleiben, daß gelegentlich eine Narbe mit Blütenstaub belegt wird, der von einer anderen Pflanzenart abstammt. Vor einer Befruchtung durch solchen artfremden Blütenstaub sind die Pflanzen meistens dadurch gesichert, daß der fremde Pollen auf der Narbe überhaupt nicht keimen kann, oder es wird durch die ihm ungünstigen Entwicklungsbedingungen der fremden Narbe das Wachstum des Pollenschlauches so sehr verzögert, daß die Befruchtung bereits durch artgleichen Blütenstaub ausgeführt ist, bevor das artfremde Sperma bis zur Eizelle gelangen konnte. Nur ausnahmsweise gelingt die artungleiche Befruchtung und nur bei Vertretern nahe verwandter Arten. Man bezeichnet die Nachkommen artungleicher Eltern als Bastarde und den Befruchtungsvorgang, dem sie ihre Entstehung verdanken, als Bastar-

dierung. Unter dem einheimischen Blütenpflanzen sind die Arten der Weiden, Rosen und Brombeeren, vor andern besonders zu Bastardbildung geneigt. Im allgemeinen aber ist die Bastardierung in der freien Natur eine seltene Erscheinung. Im vorsichtig angestellten Experiment hat man durch Ausschluß der Konkurrenz des artgleichen Blütenstaubes in manchen Fällen Bastarde erzielen können, die in der freien Natur nicht gefunden werden.

Bei der Bastardbefruchtung sind die Erbmassen, die sich im Keim vereinigen, nicht bloß individuell verschieden, sondern ihre Unterschiede beziehen sich auf die Merkmale, welche die Arten von einander trennen. Im Grunde genommen ist aber damit die Bastardierung von der artgleichen Befruchtung nicht dem Wesen nach, sondern nur dem Maß nach verschieden, denn welche Unterschiede zwischen zwei Pflanzen als arttrennende, welche als individuelle, allenfalls als rassenbildende innerhalb der Art angesehen werden müssen, das ist wesentlich von dem Ermessen des Beobachters abhängig, eine scharfe Grenze besteht zwischen arttrennenden und erblichen individuellen Verschiedenheiten nicht, wenn nur diejenigen Abweichungen außer Betracht bleiben, welche der einzelnen Pflanze während ihres Entwicklungsganges von den äußeren Lebensumständen aufgeprägt werden. Sind die individuellen Unterschiede zwischen Pflanzen der gleichen Art besonders auffällig, so pflegt man die sich gleich oder ähnlich verhaltenden Individuen innerhalb der Art als Rassen oder Varietäten zu bezeichnen. So hat man innerhalb der von alters her gebräuchlichen Artumgrenzung neuerdings in vielen Fällen eine große Anzahl von Formen unterschieden, die ihre individuellen Besonderheiten durch ihre Erbmasse mit der gleichen Sicherheit übertragen wie die Artcharaktere. Für die Befruchtung ungleicher Individuen oder verschiedener Rassen, Varietäten oder Arten gilt demnach der gleiche Satz, daß die Eigenschaften des Nachkommen aus der Mischung der väterlichen und mütterlichen Erbmassen resultieren.

Je auffälliger die Unterschiede zwischen den Eltern sind, desto leichter werden wir die Wirksamkeit der Vermischung ihrer Erbmasse im Nachkommen konstatieren können, und das Resultat wird für uns am leichtesten hervortreten, wenn wir unsere Aufmerksamkeit zunächst auf solche Fälle richten, in denen die Eltern nur in einem Merkmal sich deutlich verschieden erweisen,

oder wenn wir uns auf die Betrachtung eines solchen Merkmals bei zwei, auch in anderen Eigenschaften voneinander abweichenden Eltern beschränken.

Zunächst haben wir da die Frage zu beantworten: Wie verhält sich der Nachkomme in bezug auf das Merkmal, durch welches sich seine Eltern unterscheiden? Einige Beispiele mögen die Lösung dieser Frage geben. In unseren Bergwäldern, in Anlagen und als Alleebaum an Straßen wächst in zahlreichen Exemplaren die Eberesche oder der Vogelbeerbaum, *Sorbus aucuparia*, ein Baum, der wohl zu den allgemein bekannten

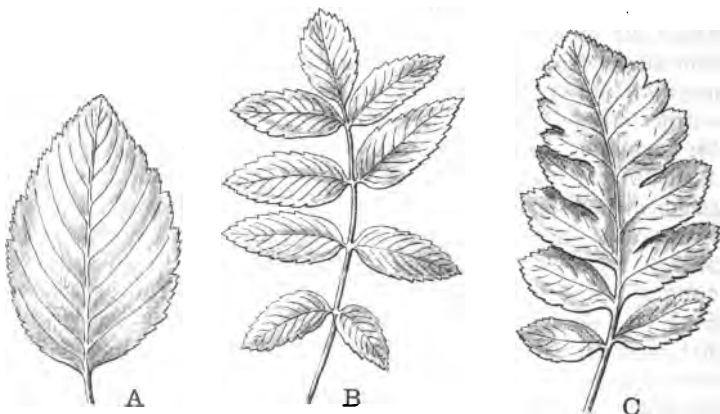


Abb. 25. A Laubblatt des Mhlbeerbaumes. B Laubblatt des Vogelbeerbaumes. C Laubblatt des Bastards zwischen den beiden Bäumen.

Gewächsen unserer heimischen flora gerechnet werden kann. Ein naher Verwandter ist der Mhlbeerbaum, *Sorbus Aria*, der gleichfalls in unseren Gebirgswäldern, wenn auch weniger häufig, als die Eberesche, wildwachsend angetroffen wird. Beide Bäume sind in ihrer Erscheinung sehr wesentlich dadurch verschieden, daß die Blätter des Mhlbeerbaumes eine einfache, ungeteilte, rundlich eiförmige Blattfläche aufweisen, während die länglichen Blätter der Eberesche aus einer Mehrzahl von Blättchen zusammengesetzt sind. Die Blättchen stehen an einer gemeinsamen Blattspindel paarweise einander gegenüber, ein einzelnes unpaares Blättchen nimmt die Spitze der Spindel ein. Zwischen

beiden Sorbusarten kann man einen Bastard erziehen, indem man den Blütenstaub des einen auf die Narben des anderen Baumes bringt. Die Bastardierung zwischen den beiden Bäumen geht auch ohne Beihilfe des Menschen bisweilen in der freien Natur vor sich, und man findet in verschiedenen Gegenden Deutschlands, in denen die beiden Eltern wachsen, vereinzelt auch den Bastard zwischen beiden im Naturzustande vor. Die Blätter dieses Mischlings sind von denen beider Eltern verschieden. Der Umriß ihrer Blattspitze ist länglich, am Grunde lösen sich unregelmäßige Blättchen von der Blattmittellippe ab. Die obere Hälfte des Blattes bildet einen einzigen, großen Endlappen, dessen Randbildung und Behaarung an das Blatt der Mehlsbeere erinnert. So finden wir also hier als das Resultat der Mischung der Erbmassen der in Beziehung auf die Blattgestalt verschiedenen Eltern beim Nachkommen eine Blattgestalt, welche zwischen derjenigen der Eltern die Mitte hält. Statt des einfachen Blattes des einen Elters oder des regelmäßig gefiederten Blattes des andern Elters tritt ein teilweise gefiedertes Blatt auf, an dessen Zustandekommen offenbar die korrespondierenden Erbteile beider Eltern beteiligt sind.

Unter den Zierblumen unserer Gärten zeichnet die aus Mexiko stammende Wunderblume, *Mirabilis Jalapa* sich sehr auffällig dadurch aus, daß sie zahlreiche Spielarten bildet, die sich durch die Farbe der Blüten von einander unterscheiden. Es gibt Varietäten mit weißen, gelben, roten Blüten in verschiedenen Farbentönen und daneben kommen noch Formen mit mehrfarbig gefleckten und gestreiften Blüten vor. Alle diese Arten können leicht mit einander gekreuzt werden. Wählt man zur Befruchtung die als *varietas alba* bezeichnete weißblühende und die rotblühende *varietas rosea*, so erzielt man Samen, aus denen Nachkommen mit einer hellrosa Blütenfarbe erwachsen. Auch hier ist das in der Blütenfarbe gegebene unterscheidende Merkmal der Eltern in den Nachkommen gemischt. Das kräftige Rot der *varietas rosea* ist durch das Weiß der *varietas alba* in rosa gemildert. Die Mischung der Erbmassen ergibt bei den Nachkommen eine Mischung der unterscheidenden Eigenschaften.

Dieser Satz, der in den vorgeführten Beispielen in aller Deutlichkeit zum Ausdruck kam, hat aber keine allgemeine Geltung. Wir werden in den folgenden Beispielen eine zweite Möglichkeit kennen lernen. Unter den Erbsen, die als Kultur-

pflanzen in unsern Gärten gezogen werden, gibt es gleichfalls eine große Zahl von Spielarten, die durch die verschiedenartigsten Merkmale von einander abweichen. Wir wählen zu dem Befruchtungsversuch eine besondere Abart, die rote Blüten trägt, und eine andere die weiße Blütenfarbe zeigt. Die Nachkommen dieser beiden Eltern empfangen also mit dem Erbgut in ihren Keim von dem einen die Anlage zu roten Blüten, von dem andern die Anlage zu weißen Blüten. Wie bei der Wunderblume werden wir hier beim Nachkommen rosafarbene oder doch rot und weißgefleckte Blüten erwarten. Das Experiment ergibt ein anderes Resultat. Alle Nachkommen haben genau die gleiche rote Blütenfarbe wie der rotblühende Elter. Die Anlage zu weißen Blüten kommt in den Nachkommen gar nicht zur Geltung. Ein weiteres Beispiel mag als Gegenstück zu den oben betrachteten *Sorbus*bastard dienen. Aus Südeuropa stammt eine von unseren Brennesseln durch die fugeligen weiblichen Blütenähren verschiedene Nesselpflanze *Urtica pilulifera*, die sich vor langen Zeiten in Mittelddeutschland, im Harz und in Thüringen an einigen Orten auf Schutt und altem Gemäuer angesiedelt hat, und dort normal gedeiht. Sie besitzt eiförmig zugespitzte Blätter, die am Rande grobe Sägezähne tragen. Von dieser Art findet sich eine Varietät, deren Blätter keine Sägezähne tragen. Einnee hat sie als eine besondere Art angesehen und als *Urtica Dodartii* bezeichnet. Befruchtet man die eine Form mit dem Blütenstaub der andern, so erzielt man eine Nachkommenschaft, deren Blätter genau die Form der Blätter der *Urtica pilulifera* mit groben Sägezähnen am Rande aufweisen. Hier ist also die Wirksamkeit der von *Urtica Dodartii* stammenden Anlage zur Erzeugung eines am Rande angezähnten Blattes in den Nachkommen gänzlich unterdrückt. Die vererbende Kraft der korrespondierenden Anlagen ist in diesen Beispielen verschieden. Wir können die eine der beiden Anlagen und damit auch die von ihr bedingte Eigenschaft des Elters als die herrschende oder dominierende, die andere als die zurücktretende oder recessive bezeichnen. Im Nachkommen tritt das dominierende Merkmal rein hervor, unbeeinflusst durch das Vorhandensein der recessiven Anlage.

Das Erbgut, welches in seiner Mischung väterlicher und mütterlicher Anlagen den Entwicklungsgang und die Formgestaltung des Nachkommen beherrscht, wird aus dem Keim un-

verändert auch an die Pollen- und Embryosackmutterzellen des Nachkommen weiter gegeben, und bildet dort die Erbmasse, aus welcher die Pollenzellen und die Embryosäcke mit Anlagen für die nächstfolgende Generation von Nachkommen ausgestattet werden. Aber die einzelne Pollenzelle und der einzelne Embryosack bekommen nicht die ganze Erbmasse die aus den väterlichen und mütterlichen Anlagen zusammengesetzt war, sondern bei der Reduktionsteilung der Mutterzelle werden die solange vereinigten Träger der Anlagen, die väterlichen und mütterlichen Chromosomen, wieder getrennt, und von jedem Chromosomenpaar, im Kern geht der vom Vater herrührende Paarling auf die eine der von der Mutter herrührende auf die andere Tochterzelle der Mutterzelle über. Die einzelne Pollenzelle bekommt also von den in den vegetativen Zellen der ersten Nachkommen- generation vereinigten väterlichen und mütterlichen Anlagen nur die eine. Von allen gebildeten Pollenzellen enthält die Hälfte nur die väterliche, die Hälfte nur die mütterliche Anlage für das unterscheidende Merkmal des ersten Elternpaares.

Die gleiche Erwägung ist auch für die Ausstattung der Embryosackkerne mit Erbgut zutreffend. Allerdings wird, wie wir früher gesehen haben von den Tochterzellen der Embryosackmutterzelle nur ein Embryosack gebildet. Da es aber dem Zufall überlassen ist, ob der den Embryosackkern liefernde Tochterkern die väterliche oder die mütterliche Anlage mit bekommt, so wird, wenn wir nur eine genügend große Anzahl von Embryosäcken in Betracht ziehen das gleiche Zahlenverhältnis wie bei den Pollenkörnern hervortreten, eine Hälfte der Embryosackkerne wird nur die väterliche Anlage die andere Hälfte nur die mütterliche Anlage im Kern enthalten.

Wenn nun die so gebildeten Pollenzellen und Embryosäcke zum Ausgangspunkt einer Befruchtung werden, wenn sich aus ihnen Spermazellen und Eizellen entwickeln, die zur Verschmelzung kommen, so sind vier verschiedene Verbindungen möglich: 1. Ein Spermakern mit väterlicher Anlage verschmilzt mit einem Eikern mit väterlicher Anlage. 2. Ein Spermakern mit väterlicher Anlage verschmilzt mit einem Eikern mit mütterlicher Anlage. 3. Ein Spermakern mit mütterlicher Anlage verschmilzt mit einem Eikern mit väterlicher Anlage. 4. Ein Spermakern mit mütterlicher Anlage verschmilzt mit einem Eikern mit mütterlicher Anlage.

Im ersten Falle bekommt der Keimkern nur die väterliche

Anlage in seinem Erbgut. Im zweiten und dritten Falle sind im Erbgut des Keimkernes sowohl die väterliche als die mütterliche Anlage enthalten. Der vierte Fall bringt dem Keimkern nur die mütterliche Anlage zu. Da diese vier Fälle alle die gleiche Wahrscheinlichkeit für sich haben, so werden sie auch gleich oft nebeneinander eintreten. Wenn nur die Zahl der

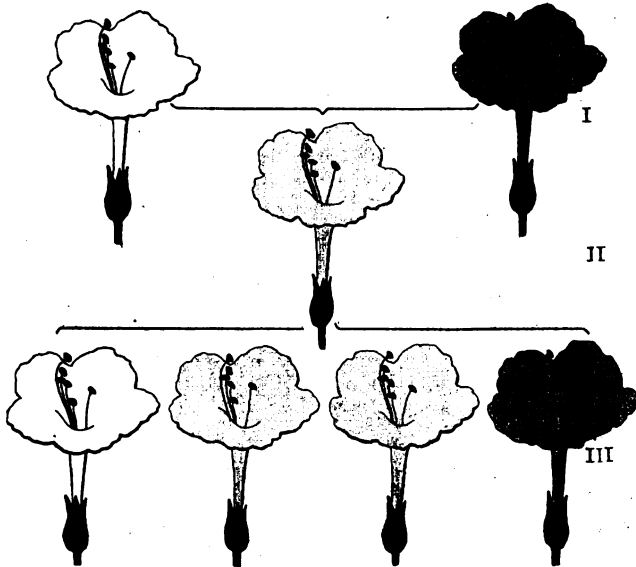


Abb. 26. Schematische Darstellung der Bastardbildung bei *Mirabilis jalapa* (nach Correns). I Repräsentiert die beiden Eltern Varietas alba mit weißen Blüten und Varietas rosea mit roten Blüten, II den aus beiden hervorgegangenen Bastard mit rosa Blüten, III die Nachkommen des Bastards, von denen ein Viertel weiße, ein Viertel rote und zwei Viertel rosa Blüten haben.

Befruchtungen genügend groß ist, so werden ein Viertel der gebildeten Keime nur die väterliche Anlage, zwei Viertel die Vereinigung der väterlichen und mütterlichen Anlage und das letzte Viertel nur die mütterliche Anlage enthalten müssen. Die Embryonen, welche aus dem Keimen entstehen und die Pflanzen, die aus ihnen erwachsen, müssen demnach sich je nach dem ihnen zuteil gewordenen Erbgut verschieden verhalten. Ein Viertel

der Nachkommen der zweiten Generation muß in dem abweichenden Merkmal dem einen der ersten Eltern gleichen, ein Viertel dem andern und zwei Viertel müssen die Mischlingsnatur zeigen, die dem Nachkommen der ersten Generation durch die Vereinigung der väterlichen und mütterlichen Anlage in ihren Erbgute aufgeprägt worden war.;

Diese Forderung der Theorie wird durch das Resultat vorsichtig angestellter Experimente auf das Beste erfüllt. Wir haben oben das Beispiel der Wunderblume kennen gelernt, bei welchen aus einer weißblühenden und einer rotblühenden Spielart Nachkommen hervorgehen, welche hellrosa gefüllte Blüten tragen. Verwenden wir die hellrosa blühenden Pflanzen dieser ersten Generation von Nachkommen zu weiterer Zucht und tragen wir dafür Sorge, daß der Blütenstaub, der ihre Samenanlagen befruchten soll, ebenfalls von hellrosablühenden Geschwisterpflanzen her stammt, so sind die Vorbedingungen welche unserer theoretischen Erwägung zugrunde lagen erfüllt. Wir sammeln sorgfältig die ausgereiften Samen ein, und bringen sie vor Vermischung mit Samen anderer Herkunft geschützt zur Aussaat. Von den Pflanzen, welche aus dieser Aussaat erwachsen, blüht nur die Hälfte hellrosa, wie die Pflanzen, die den Samen trugen, ein Viertel aber zeigt die weiße Blütenfarbe der *varietas alba*, ein Viertel blüht rot wie die *varietas rosea*. Das Merkmal der Großeltern tritt also an je einem Viertel der Enkel wieder rein hervor.

Es läßt sich leicht übersehen, wie sich das Zahlenverhältnis stellen muß, wenn das Merkmalpaar, durch welches die Stammeltern sich unterschieden, sich in den Nachkommen der ersten Generation nicht mischt, wenn also die dominierende Anlage den Einfluß der recessiven Anlage auf die Formgestaltung des Mischlings verdeckt. Die Hälfte der Enkel, in deren Erbgut die dominierende und die recessive Anlage vereinigt sind, wird ebenso wie dasjenige Viertel der Enkel das nur die dominierende Anlage erhielt, das dominierende Merkmal aufweisen; ein Viertel der Enkel erhält lediglich die recessive Anlage, nur an ihm tritt das recessive Merkmal des einen Großeltern wieder in die Erscheinung.

Auch diese theoretische Erwägung findet im Experiment seine Bestätigung. Wenn man die Nachkommen vom *Urtica pilulifera* und *Urtica Dodartii*, welche ausnahmslos die Blatt-

form der ersteren Art mit dem grobgesägten Blattrande aufweisen, zur Nachzucht benutzt unter vorsichtiger Vermeidung der Einmischung fremden Blütenstaubes, so zeigen die Pflanzen, die aus den Samen erwachsen, zu drei Vierteln die grobgesägten Blätter der *Urtica pilulifera*, ein Viertel aber hat reine *Dodartii*-

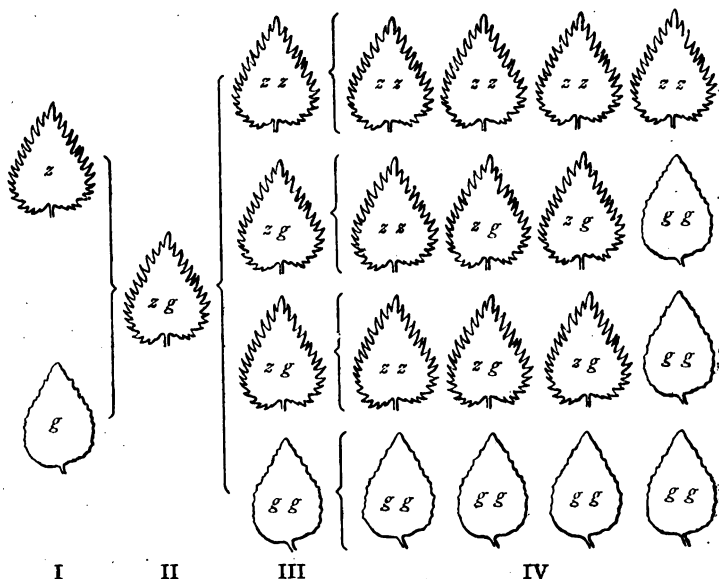


Abb. 27. Schematische Darstellung der Bastardbildung bei *Urtica pilulifera* und *Dodartii*. I Repräsentiert beide Eltern, II den Bastard, III die Nachkommen der Bastardpflanzen, IV die von III abstammenden Nachkommen. Die Buchstaben z und g deuten die im Erbgut gegebene Befähigung zur Hervorbringung zahnrandiger respektive glattrandiger Blätter an. zz und gg bedeuten demnach die Rassenreinheit der *Urtica pilulifera* und *Urtica Dodartii*. zg zeigt die Bastardnatur der mit zahnrandigen Blättern versehenen Nachkommen an.

blätter ohne die Sägezähne. Daß von den mit *Piluliferablättern* versehenen Pflanzen zwei Drittel in Ansehung ihrer Erbmasse Mischlingsnatur besitzen, läßt sich dadurch beweisen, daß sich unter ihren durch Selbstbestäubung erzielten Nachkommen immer wieder ein Viertel mit der *Dodartii*-form der Blätter findet. Das andere Drittel aber zeigt an allen seinen Nachkommen

beständig die Piluliferablätter, ein deutlicher Beweis, daß seine Erbmasse nur die dominierende Anlage enthält.

Als Beleg für die Tatsache, daß bei den Nachkommen eines Mischlings das dominierende Merkmal an drei Vierteln der Individuen auftritt, während ein Viertel das recessive Merkmal zeigt, hat man an den Nachkommen gewisser Maisracen ein ausgezeichnetes Beispiel gewonnen. Unter den Kulturracen des Mais unterscheidet sich der sogenannte Zuckermais von den übrigen sehr auffällig dadurch, daß in dem Endosperm seiner Samenkörner nicht Stärke als Reservahrung aufgespeichert wird, sondern ein zuckerhaltiger Zellsaft, der anfänglich die Zellen des Endosperms strogend erfüllt. Bei der Reife der Körner verringert sich aber der Saftgehalt der Zellen, sodaß die Maiskörner an dem Kolben stark zusammenschrumpfen und runzelig werden, was dem ganzen Kolben ein sehr eigenartiges Aussehen verleiht. Die Körner der Maisracen dagegen, welche in ihren Samen Stärke speichern, bleiben auch bei der Reife glatt und prall. Die Zuckerbildung des Samen ist gegenüber der Stärkebildung ein recessives Merkmal. Bestäuben wir also den weiblichen Blütenkolben einer gewöhnlichen Maispflanze, die aus stärkehaltigem Samen erwachsen ist, mit dem Blütenstaub einer Zuckermaispflanze, so wird dadurch die Ausbildung der Samen nicht verändert. Die reifen Kolben zeigen die glatten, prallen Körner, welche dem Stärkemais eigen sind. Wenn man die so erzielten Maiskörner im nächsten Jahr zur Aussaat bringt, so besitzen die aus ihnen hervorgehenden Pflanzen Mischlingsnatur und in ihren Pollen- und Embryosackmutterzellen werden die Anlagen für Stärkebildung beziehungsweise für Zuckerbildung wieder auf die einzelnen Pollenzellen und Embryosäcke verteilt, und die aus diesen hervorgehenden Spermatkerne beziehungsweise Eiterne bringen zur Hälfte nur die dominierende, zur Hälfte nur die recessive Anlage mit. Bestäuben wir die weiblichen Blüten dieser Mischlinge mit Blütenstaub der gleichen Herkunft, so macht sich das Resultat sogleich an der Endospermbildung der aus den weiblichen Blüten hervorgehenden Körner bemerkbar, der reife Maiskolben zeigt zweierlei Körner, glatte pralle Körner, welche Stärke enthalten, und runzelig eingesunkene, welche Zucker als Reservestoff führen. Das Zahlenverhältnis, der verschiedenen Körner am einzelnen Kolben, ist, wie ein

Blick zeigt, annähernd das von ein Viertel runzeligen, zu drei Viertel glatten Körnern.

Die aus den runzeligen Körnern erwachsenden Pflanzen bringen, wenn sie mit dem eigenen Blütenstaub befruchtet werden, ausschließlich Zuckermaiskolben; sie besitzen also in Bezug auf die Endospermibildung die unveränderte Natur des einen Groß-

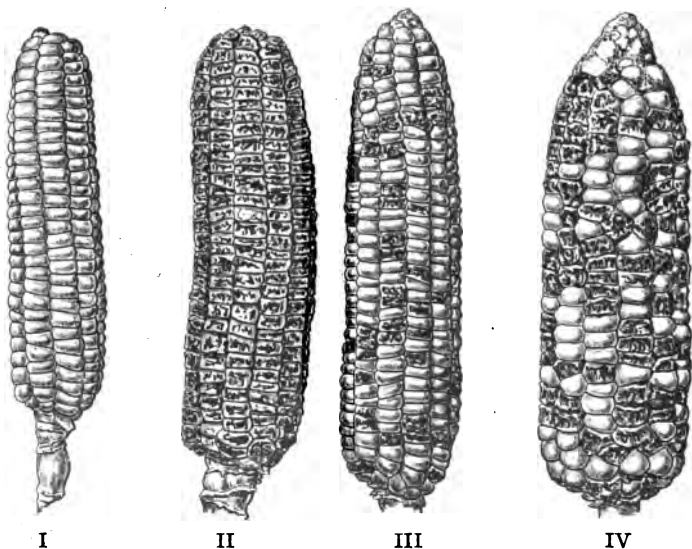


Abb. 28. Maiskolben zur Demonstration des Zahlenverhältnisses bei Bastardierung (nach De Vries). I Kolben von Stärkermais, mit glatten Körnern. II Kolben von Zuckermais, mit runzligen Körnern. III Maiskolben von einem durch Selbstbestäubung befruchteten Bastard zwischen I und II. IV Maiskolben von einem mit Zuckermaispollen befruchteten Bastard zwischen I und II.

elters. Wenn die aus den glatten Samen erzogenen Maispflanzen mit dem eigenen Pollen bestäubt werden, so bringt ein Drittel von ihnen reine Stärkermaiskörner hervor, und auch die aus diesen erwachsenden weiteren Generationen zeigen das gleiche Verhalten. In ihnen ist in Bezug auf die Endospermibildung die Natur des anderen Großeltern rein und unver-

mischt wieder hergestellt. Die zwei andern Drittel der glatten Körner aber haben Mischlingscharakter, der freilich an den Körnern äußerlich nicht erkennbar wird, da nur die dominierende Anlage die Endospermibildung beherrscht. Daß aber in ihrer Erbmasse auch die recessive Anlage enthalten ist, ergibt sich sofort wenn wir die aus ihnen hervorgehenden Maispflanzen mit dem eigenen Pollen bestäuben. Die Maiskolben, welche infolge der damit eingeleiteten Befruchtung an ihnen ausgebildet werden, zeigen immer wieder ein Viertel runzeliger Körner des Zuckermais neben drei Vierteln glatter Stärkemaiskörner.

Der günstige Umstand, daß bei den Mischlingen von Stärkemaïs und Zuckermais die Zusammensetzung der Erbmasse ihre Wirksamkeit bereits an dem Samen deutlich erkennbar werden läßt, macht diese Objekte für die experimentelle Prüfung der theoretischen Forderungen besonders geeignet. Wir können mit ihrer Hilfe auch leicht das Zahlenverhältnis feststellen, in welchem die verschiedenen Körner an den Kolben auftreten, wenn wir den Mischling zwischen Zuckermais und Stärkemaïs nicht mit dem eigenen Blütenstaub, sondern mit demjenigen des reinen Zuckermais bestäuben. Die theoretische Erwägung führt zu dem Ergebnis, daß in diesem Falle die Zahl der glatten Körner annähernd gleich derjenigen der runzeligen sein muß. Die Pollenkörner bringen nämlich alle die Anlage zum recessiven Merkmal mit, die Embryosackzellen des Mischlings enthalten zur Hälfte die gleiche Anlage, zur Hälfte dagegen die dominierende. Diese letztere Hälfte bekommt durch die Befruchtung den Mischlingscharakter, die Körner zeigen das dominierende Merkmal, die andere Hälfte dagegen bekommt nur die recessive Anlage und liefert sonach runzelige Zuckermaiskörner. Jeder Kolben eines mit Zuckermaispollen bestäubten Mischlings zeigt ohne weiteres, daß die Tatsachen die theoretischen Erwägungen bestätigen, er hat glatte und runzelige Körner in annähernd gleicher Zahl. Würde man zur Bestäubung eines Mischlings den Blütenstaub des Stärkemaïs benutzen, so würden alle Körner glatt und stärkehaltig werden, da der Pollen die Anlage für das dominierende Merkmal in alle Embryosäcke mitbringt. Der Natur ihrer Erbmasse nach würden diese glatten Körner zur Hälfte reine Stärkemaiskörner sein, zur andern Hälfte aber Mischlinge, deren Gehalt an recessiven Anlagen bei der Selbstbestäubung der aus ihnen hervorgehenden Pflanzen dadurch zu

Tage treten müßte, daß die Kolben wiederum regelmäßig ein Viertel runzelige neben drei Viertel glatten Körnern aufweisen.

Die Vererbungsversuche, bei denen wir zur Unterscheidung von dominierenden und recessiven Anlagen und Merkmalen gelangten, haben ergeben, das in einem Keim eine Anlage enthalten sein kann, welche durch eine andere ihr widerstreitende Anlage gänzlich verhindert wird, sich in der Formgestaltung der Pflanze äußerlich bemerkbar zu machen. Sie ist gewissermaßen außer Tätigkeit gesetzt, oder was dasselbe sagt, latent geworden. Die latenten Anlagen verschwinden aber in dem Erbgut nicht, sie werden in den Nachkommen wieder wirksam, sobald bei der neuen Verteilung des Erbgutes das Hindernis aufgehoben wird. Diese aus den mitgeteilten Versuchen entnommene Erfahrungstatsache, läßt die Annahme berechtigt erscheinen, daß auch, abgesehen von den durch Mischung erbungsgleicher Geschlechtskerne entstandenen Fällen in der Erbmasse der einzelnen Pflanzenart latente Anlagen vorhanden sein können, die nur durch ganz besondere Umstände in Tätigkeit gesetzt werden können. Diese Annahme können wir zur Erklärung heranziehen, wenn bei Vererbungsexperimenten am Mischling zweier unter sich verschiedener Eltern Eigenschaften hervortreten, die bei keinem der beiden Eltern vorhanden waren.

Wenn man z. B. mit der uns bekannten weißblühenden Wunderblume *Mirabilis Jalapa varietas alba*, die blaßgelb blühende Race, *Varietas gilva* in Kreuzbefruchtung bringt, so entstehen Nachkommen, welche auf ihren hellrosa Blüten einzelne dunkler rote Streifen zeigen. Daß hier die Mischung der Anlagen zu weißen Blüten und der Anlagen zu gelben Blüten im Nachkommen zu hellrosa Blütenfarbe führt, ist nun auf den ersten Blick befremdend, weil wir geneigt sind, in der Blütenfarbe des Nachkommen eine Mittelfarbe zwischen den Blütenfarben der Eltern zu erwarten. Aber die Mischung der Anlagen im Keime ist ja nicht, oder doch nicht immer eine einfache Nebeneinanderstellung ihrer Wirksamkeit, sondern sie stellt eine Kombination dar, die die Entwicklung beeinflussender Lebenskräfte dar, deren Endresultat nicht im Voraus zu bestimmen ist. Viel auffälliger ist das Auftreten der gestreiften Blüten bei den Mischlingen. Die Anlage zur Streifenbildung in den Blütenblättern ist weder bei der weißen noch bei der gelblichen Race wahrnehmbar. Da sie aber bei den Nachkommen in Tätigkeit

tritt, so müssen wir annehmen, daß in dem Erbgut des einen der beiden Eltern diese Anlage latent vorhanden war. Durch die Verbindung der elterlichen Erbmassen wird erst ihre Wirksamkeit ausgelöst.

Wir haben demnach in diesem Beispiel nicht mehr ein einfaches Merkmalpaar, sondern zwei Merkmalpaare, deren Kombination die Merkmale der Nachkommen bestimmt. Das eine Merkmalpaar, weiße und gelbe Blütenfarbe tritt im Mischling kombiniert auf, und bedingt seine Blütenfarbe. Das andere Merkmalpaar, die einfarbige Blüte bei dem einen Elter, die latente Befähigung zur Bildung gestreifter Blüten, bei dem andern bestimmt die Streifung der Blüten, indem das in dem einen Elter latente Merkmal im Mischling dominierend auftritt.

Befruchtet man die Mischlinge mit ihrem eigenen Blütenstaub, so teilen sich mit den Erbmassen auch die Merkmale in der Nachkommenschaft nach dem bekannten Zahlenverhältnis. Die einzelnen Merkmalpaare erfahren dabei die Verteilung auf die Nachkommen von einander unabhängig, und es treten dabei alle bei der Vereinigung der erbungleichen Sperma- und Eizellen möglichen Kombinationen auf. Wir finden bei den Nachkommen in einem der Theorie entsprechenden Zahlenverhältnis die folgenden elf Blütenfärbungen auftreten: weiß, weiß mit roten Streifen, hellrosa, dunkelrosa, hellrosa mit roten Streifen, rot, weiß mit gelben Streifen, hellgelblich, gelblich, hellgelblich mit gelben Streifen, gelb. Es würde uns zu weit führen, hier auf die Zahlenverhältnisse in denen die einzelnen Kombinationen unter den Nachkommen vertreten sind, näher einzugehen, und das Zustandekommen der einzelnen Farbenzusammenstellungen durch die verschiedenartige Mischung der Erbmassen im einzelnen zu verfolgen. Es mag genügen, auf die Tatsache hingewiesen zu haben, daß mehrere in den Eltern neben einander vorhandene Merkmalpaare unabhängig von einander auf die Nachkommen verteilt werden, und daß dadurch erbbeständige Kombinationen von Merkmalen entstehen können, die einen Teil der Nachkommen dauernd von den Stammeltern unterscheiden.

Wenn, wie es in den zuletzt geschilderten Beispielen der Fall war, alle einzelnen Merkmalpaare zweier Eltern auf die Nachkommen den gleichen im voraus bestimmbareren Einfluß ausüben und wenn ferner alle Merkmalpaare eines Elternpaares in ihren Anlagen unabhängig von einander auf die Nachkommen

der zweiten Generation sich verteilen, so müßte es gelingen, durch Vererbung jede Kombination der Eigenschaften, der mit einander gekreuzten Pflanzen in den Nachkommen zu erzielen. Es müßte dem Pflanzenzüchter gelingen die wohl im Scherz aufgestellte Forderung zu erfüllen, eine univervelle Kohlpflanze zu erziehen, deren Wurzel zur Rübe, deren oberirdischer Stamm zur Kohlrabifnolle anschwillt, deren Blätter schmackhaftes Kraut, deren Achselknospen Rosenkohl und deren Blütenstände Carviol liefern. Leider ist das nicht möglich aus dem Grunde, weil bei einzelnen Merkmalpaaren das dominierende Merkmal unter Umständen recessiv werden kann, weil viele Merkmalpaare mit einander derart verbunden sind, daß sie beim Erbgange immer auf die gleichen Nachkommen übergehen, und weil zwischen den Merkmalpaaren Wechselbeziehungen bestehen, deren Einfluß bei den Nachkommen zu ganz anderen als den nach der Theorie erwarteten Ergebnissen führt. Hinzu kommt, daß es erst in verhältnismäßig wenigen Fällen gelungen ist, die Merkmalpaare, die bei der Vererbung an einheitliche Vererbungsträger gebunden sind, so klar zu erkennen, daß der Züchter mit ihnen, wie mit gegebenen Einheiten operieren kann. Die ständige Wechselbeziehung zwischen der sich entwickelnden Pflanze und den wandelbaren äußeren Lebensumständen bewirkt, daß die einzelnen Merkmale, auch ohne daß die sie bestimmenden Anlagen der Erbmasse sich ändern, innerhalb weiter Grenzen schwanken, und daß auch in den Elternpflanzen, die den Ausgangspunkt eines Vererbungsversuches bilden sollen, die körperlichen Träger der Erbmasse aus den endlosen vorangegangenen Generationen der Vorfahren bunt zusammengewürfelt sind. Alle diese Umstände verwirren und erschweren die Übersicht so sehr, daß der Pflanzenzüchter auch heute noch von den Zufälligkeiten des Versuches in größerem Umfange besseren Erfolg erwarten kann, als von dem einzelnen Experiment auf Grund theoretischer Erwägungen. Immerhin kommt die durch die wissenschaftliche Forschung gewonnene tiefere Einsicht in das Wesen der Vererbung und der Beziehungen, welche zwischen der Befruchtung und Vererbung bestehen auch dem Praktiker zu Nutzen, und in den modernen Werken, welche über Pflanzenzüchtung handeln, darf auch die eingehende Darstellung der Befruchtungsvorgänge und der Vererbungsgesetze in ihrer Beziehung zur Pflanzenzüchtung nicht mehr fehlen.

Kapitel VI.

Geschlechtsverlust, Jungfernzeugung, vegetative Embryonen. Bedeutung der Vererbung für die Entstehung neuer Formen.

Wenn wir zurückblickend uns die wesentlichsten Momente vergegenwärtigen, welche die Betrachtung des Befruchtungsvorganges für die Deutung dieser Erscheinung ergeben haben, so treten vor allen Dingen zwei Tatsachen in den Vordergrund:

1. Die Befruchtung gibt den Sexualzellen die Befähigung zur Weiterentwicklung zurück, welche sie durch ihre innere Differenzierung verloren haben, und

2. bei den Befruchtungsvorgängen werden in der Keimzelle, die den Anfang des Nachkommen darstellt, die Anlagen der väterlichen und der mütterlichen Zellen vereinigt zu einem Erbgut, dessen Zusammensetzung den Entwicklungsgang und die Formgestaltung des Nachkommen beherrscht.

Die Anregung zur Weiterentwicklung ist offenbar der bedeutsamste von beiden Vorgängen. Ohne sie würde auch die Mischung des Erbgutes nutzlos sein. Es scheint nun, als ob die Wiedererwerbung der Entwicklungsfähigkeit in einzelnen Fällen auch ohne den Befruchtungsvorgang erfolgen kann, man kennt eine Reihe von Beispielen, in denen Zellen, die ihrem Entwicklungsgange nach den Gameten verwandter Formen entsprechen, ohne Verschmelzung die Erzeugung einer Nachkommenschaft vermitteln. In den niedern Gruppen des Gewächsreiches bei Algen und Pilzen mag dieses Verhalten dadurch seine Erklärung finden, daß die Differenzierung der Gameten überhaupt nicht immer zum gänzlichen Verlust der Entwicklungsfähigkeit führt. So ist bei der Schilderung der geschlechtlichen Fortpflanzung der Kraushaaralge *Ulothrix* im zweiten Abschnitt darauf aufmerksam gemacht worden, daß einzelne der birnförmigen mit zwei Cilien versehenen Gameten, welche nicht zur Verschmelzung mit einem andern Gameten kommen, nach zeitweiligem Umherschwärmen zur Ruhe kommen, und eine der Zygospore äußerlich ähnliche, wenn auch kleinere Dauerzelle bilden können, die wie die Zygospore bei der Keimung einige ungeschlechtliche Schwärmezellen aus sich hervorgehen läßt. Das Ausbleiben der Befruchtung ist bei diesen Sporenzellen, die wir als Zygosporen den durch Zellverschmelzung entstandenen

Zygosporen gegenüberstellen können, nur daran bemerkbar, daß die Zahl der in ihnen gebildeten Schwärmer eine geringere ist. Auch bei den Spirogyren, deren Kopulationsvorgang gleichfalls im zweiten Abschnitt geschildert wurde, kommt eine ähnliche Uygosporenbildung vor. Eine dickfädige Art, *Spirogyra mirabilis*, bildet an ihren Fäden niemals die eigentlichen Kopulationsfortsätze von Zelle zu Zelle aus, durch welche bei den übrigen Arten der männliche Gamet zu dem weiblichen hinüber wandert. Jede einzelne Zelle der erwachsenen Fäden verdichtet und verkleinert ihren lebenden Inhalt durch Wasserabgabe zu einem der Zygospore ähnlichen Körper, der sich mit einer dicken Zellwand umhüllt, und nach überstandener Winterruhe zu einem neuen Spirogyrafaden auskeimt. Spirogyraarten hat man auf künstlichem Wege dadurch zur Bildung von Uygosporen bringen können, daß man sie zu der Zeit, wenn bereits die Kopulationsfäden von Zelle zu Zelle in der Entwicklung begriffen waren, in eine Flüssigkeit brachte, die geeignet war, dem Zellinhalt einen Teil seines Wassers zu entziehen. Unter diesen Umständen unterblieb die bereits angebahnte Verschmelzung der Gameten. Diese lieferten aber jeder für sich in seiner Zelle eine Sporenzelle, die in ihrer äußeren Beschaffenheit und ihrem Verhalten einer Zygospore durchaus ähnlich war.

Bei den Pilzen findet sich der Ausfall des Befruchtungsvorganges und die selbständige Entwicklung der Gameten zu Fortpflanzungsorganen in verschiedenen Gruppen. Unter den Schimmelpilzen, deren außerordentlich ergiebige vegetative Vermehrung durch staubfeine Sporen in dem ersten Kapitel besprochen wurde, zeichnet sich der Köpfchenschimmel dadurch aus, daß bei ihm zahlreiche Sporen im Innern kugel- oder köpfchenförmiger Endzellen der Fruchtkörper entstehen. Die geschlechtliche Fortpflanzung wird dadurch eingeleitet, daß die Endzellen kurzer Äste des vegetativen Pilzgewebes mit einander in Berührung treten und zur Zygospore verschmelzen. Häufig findet man aber statt der letzteren Uygosporen, sei es daß von den zur Verschmelzung bestimmten Zellen nur die eine normal entwickelt ist, und für sich zur Fortpflanzungszelle wird, oder sei es, daß die beiden Gameten, bevor sie durch das Wachstum der sie tragenden Äste mit einander in Berührung treten, zu Uygosporen werden. Für einige Pilzformen scheint sogar die Uygosporenbildung die ausnahmslose Regel zu bilden; so werden an dem vegetativen

Sadengeflecht der im ersten Abschnitt erwähnten Empusa, welches den Körper der Stubenfliegen im Herbst durchwuchert, kugelige Sporen gebildet, deren Aussehen und Verhalten sie als den durch Befruchtung entstandenen Zygosporen anderer nahe verwandter

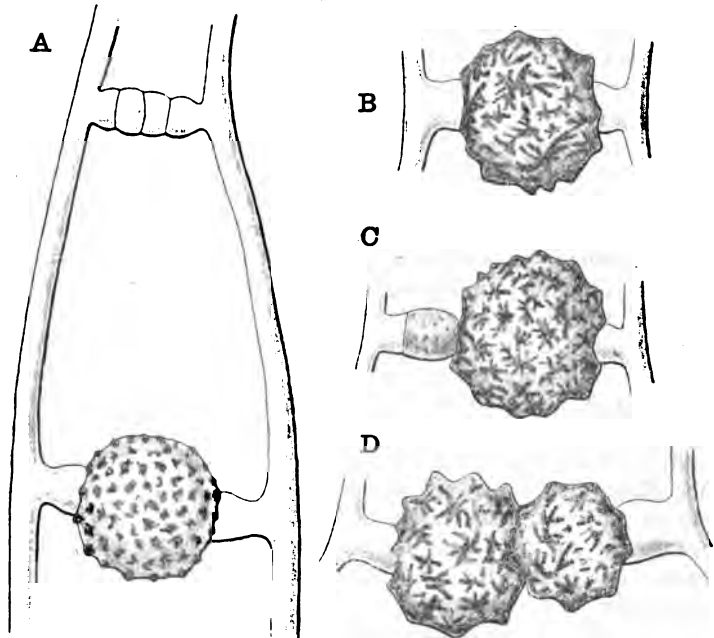


Abb. 29. Zygosporenbildung bei *Mucor* vergrößert (nach Bainier)
A Normale Zygosporenbildung bei *Mucor spinosus* in zwei Entwicklungsstadien. B—D *Mucor erectus*. B normale Zygospore. C Ein Gametenast ist verkümmert, der andere hat eine Azygospore gebildet. D Beide Gameten sind ohne Verschmelzung zu Azygosporen geworden.

Pilze homologe Bildungen und demnach, da sie ohne Zelloverschmelzung entstehen, als Azygosporen erscheinen läßt.

Die Annahme, daß die noch nicht genügend weit vorgeschrittene Differenzierung der Gameten die Möglichkeit zur selbstständigen Weiterentwicklung der einzelnen Geschlechtszellen bestehen läßt, stößt auf Schwierigkeiten in den Fällen, wo im normalen Verlauf der Befruchtungsvorgang sich zwischen zwei

unter sich wesentlich verschiedene Gameten, einer Eizelle und einem Spermatozoid oder einer Spermazelle abspielt. Doch sind auch hier einzelne Beispiele von selbständiger Fortentwicklung eines Gameten seit langem bekannt. Im Allgemeinen ist es in solchen Fällen die Eizelle, die ohne Befruchtung den Entwicklungsgang durchmacht, der sie zum Anfang der neuen Pflanze werden läßt; sie ist ja durch ihre Größe und durch ihren reicheren Gehalt an Nährstoffen für die selbständige Weiterbildung offenbar besser ausgerüstet als die vielmal kleineren und an plasmatischen Substanzen ärmeren männlichen Gameten. Den Vorgang, durch welchen eine unbefruchtete Eizelle zum Ausgangspunkt für die Entstehung einer Nachkommenschaft wird, bezeichnet man als Jungfernzeugung oder Parthenogenesis. Um für die an die Parthenogenesis sich anknüpfenden theoretischen Erörterungen eine Grundlage zu gewinnen, wollen wir zunächst einige sicher-gestellte Fälle von Jungfernzeugungen eingehender betrachten.

Zu den ältesten und wohlbekannten Beispielen von Parthenogenesis bei Pflanzen ist eine Armleuchteralge, *Chara crinita* zu zählen, die über ein weites Gebiet der nördlichen Halbkugel verbreitet ist, und auch im Bereiche der deutschen Flora zahlreiche feste Standorte bewohnt. Die Armleuchteralgen gehören zu den stattlichsten Erscheinungen in der Algenflora der Binnenwässer. Ihr Vegetationskörper ist am Grunde der Gewässer fest gewurzelt, er besitzt einen regelmäßig fandelaberartig verzweigten Sproß, mit gipfelständigen Vegetationspunkten. Die Sproßachsen tragen an jedem Knoten einen Quirl kurzer Zweiglein mit begrenztem Wachstum, welche man gewöhnlich als Blätter bezeichnet. Alle oberirdischen Teile der Armleuchteralge sind frisch grün gefärbt, so daß ihre Gesamterscheinung an krautige Blütenpflanzen erinnert. Die Fortpflanzungsorgane, Antheridien und Oogonien stehen an den Blättern. Manche Arten tragen beiderlei Geschlechtsorgane neben einander an derselben Pflanze, bei anderen Arten sind sie zweihäufig verteilt, so daß männliche Pflanzen, welche nur Antheridien tragen und weibliche Pflanzen, mit Oogonien unterschieden werden können. Zu den zweihäufigen Arten gehört auch die parthenogenetische *Chara crinita*. Sie liebt einen gewissen Salzgehalt des Wassers, und findet sich deshalb in den Brackwässern längs der Seeküste oder in salzhaltigen Binnenwässern angesiedelt. Es war schon früher aufgefallen, daß von ihr an den deutschen Standorten nur weib-

liche Pflanzen angetroffen wurden. Trotz alles Suchens waren männliche Exemplare nicht aufzufinden. Da man trotzdem alljährlich die einjährige Pflanze aus Keimpflanzen neu aufgehen sah, so war die Annahme nicht von der Hand zu weisen, daß die *Chara crinita* ihre Eizellen ohne Befruchtung zu keimfähigen Sporen entwickelt. Die Annahme, daß von *Chara crinita* überhaupt keine männliche Pflanzen existieren, hat sich später als Irrtum erwiesen. Man hat, wenn auch nur an ganz vereinzelt Standorten, in Siebenbürgen, am kaspischen Meere, auf Sizilien, in Frankreich und Griechenland auch Pflanzen mit normalen Antheridien entdeckt. Die Tatsache, daß die Eizellen sich parthenogenetisch entwickeln können, wird aber dadurch nicht in Frage gestellt, da es gelungen ist, weibliche Pflanzen von *Chara crinita* in Glasgefäßen unter strengster Kontrolle durch mehrere Jahre hindurch bis zur Ausbildung keimfähiger Sporen zu kultivieren.

Lange Zeit hindurch ist das Beispiel der *Chara crinita* als der einzige Fall sicher nachgewiesener Parthenogenensis bei Pflanzen angesehen worden. In neuerer Zeit hat man aber die Jungferzeugung, die im Tierreiche eine weite Verbreitung besitzt, auch bei den Blütenpflanzen in ausgedehnterem Maße nachweisen können. Die verbesserten Untersuchungsmethoden ermöglichen es, die Zellteilungen, welche zur Keimbildung führen und den Vorgang der Verschmelzung der Geschlechtszellen in allen ihren Einzelheiten unter dem Mikroskop zu kontrollieren. Die Feststellung, daß ein unbefruchtetes Ei zum Keim wird, bedarf wohl einer sehr mühsamen Untersuchung, aber das Ergebnis ist dann auch gegen den Einwand, daß unbemerkt eine Zellverschmelzung stattgefunden haben könne, von vornherein sicher gestellt.

Die wissenschaftlichen Arbeiten, durch welche Fälle von Parthenogenensis bei Blütenpflanzen aufgedeckt wurden, stammen alle aus dem letzten Jahrzehnte. 1898 wies ein schwedischer Botaniker nach, daß bei *Antennaria alpina*, einer unserer einheimischen Himmelfahrtsblume, *Gnaphalium dioicum* nahestehenden Pflanze aus der Familie der Köpfchenblütler die Embryonen aus unbefruchteten Eizellen hervorgehen. Drei Jahre später wurde dieselbe Erscheinung bei mehreren Arten des Frauenmantels *Alchemilla* beobachtet, eine Pflanzengattung die zu der Familie der Rosenblütigen gehört. Auch in der Familie

der Hahnenfußgewächse wurde Jungfernzeugung nachgewiesen, und zwar bei einer Art der Wiesenraute, (*Thalictrum purpurascens*). In den letzten Jahren kamen dann noch weitere Beispiele aus der Familie der Köpfchenblütler hinzu, darunter der Löwenzahn (*Taraxacum officinale*) und ferner wurde auch bei einigen tropischen Gewächsen, einer Feigenart (*Ficus hirta*) und einer Wickströmie (*Wickstroemia indica*) die Ausbildung parthenogenetischer Keime konstatiert.

In allen Fällen, in denen dabei das Verhalten der Zellkerne eingehender geprüft worden ist, hat sich gezeigt, daß die Abweichung von dem normalen Entwicklungsgang, welche zu der parthenogenetischen Entstehung eines Embryos führt, bereits bei der Teilung der Embryosackmutterzelle beginnt. Diese Zelle erfährt, wie wir gesehen haben, in den normalen Samenanlagen eine Reduktionsteilung, so daß der Zellkern des Embryosackes nur die einfache Chromosomenzahl besitzt. Bei parthenogenetischen Samenanlagen dagegen bleibt die Chromosomenreduktion aus. Der Kern des Embryosackes und die aus ihm hervorgehenden acht Kerne empfangen demnach die doppelte Chromosomenzahl welche den vegetativen Zellen der Blütenpflanze eigen ist. Der regelmäßige Wechsel einer x -Generation und einer $2x$ -Generation, den wir in den vorhergehenden Kapiteln von Moosen bis aufwärts zu den Blütenpflanzen verfolgt haben, ist damit beseitigt. Anstelle der rudimentären x -Generation, die den Eiapparat die Antipoden und die beiden Polkerne der normalen Samenanlagen bildet, finden wir hier im Embryosack nur Kerne mit $2x$ Chromosomen. Die inneren Vorgänge im Embryosack spielen sich aber trotzdem in der gleichen Weise ab wie bei den normalen Samenanlagen anderer Arten. Es wird also auch hier ein Eiapparat und die Antipodengruppe gebildet. Die Polkerne rücken aneinander, und werden später zum Ausgangspunkt der Endospermibildung. Das Ei bedarf aber der Ergänzung seiner Chromosomenzahl nicht, es schreitet ohne Weiteres zu Zellteilungen, welche aus ihm einen normalen Embryo hervorgehen lassen.

Wenn wir es als eine wesentliche Eigenschaft der Eizelle ansehen wollen, daß sie von einer x -Generation gebildet wird, und daß sie selber nur die einfache Chromosomenzahl besitzt, so können wir die Zelle, welche in diesen Beispielen die Stelle der Eizelle einnimmt, nicht als typisches Ei betrachten, sie ist

nichts anderes als eine vegetative Keimzelle, der die Fähigkeit innewohnt, aus sich ein neues Individuum der Art zu erzeugen in derselben Weise wie eben eine Pilzspore oder eine einzellige Brutknospe zu einem Pilz oder einer Moospflanze werden kann. Daß diese männliche Brutzelle aus einem Zellkomplex sich absondert, der in seiner Entstehungsweise und in der Anordnung

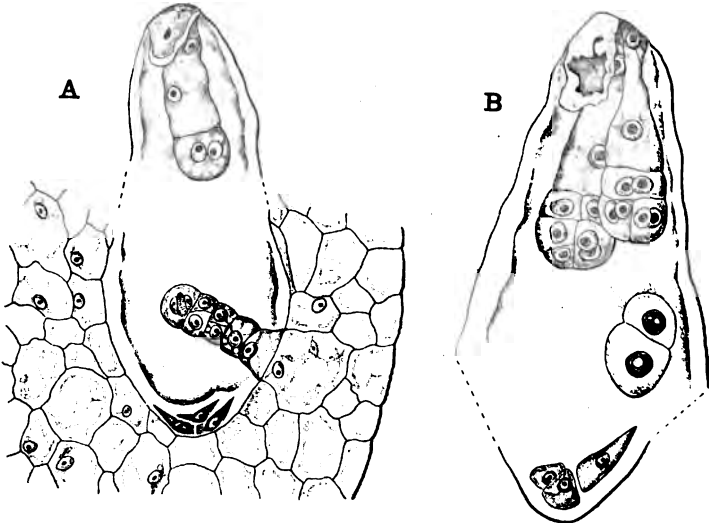


Abb. 30. A Embryosack von *Alchemilla sericate*, in welchem neben dem aus der unbefruchteten Eizelle entstandenen Embryo eine vegetative Zelle des Ucellus zum Embryo auswächst. Der mittlere Teil des Embryosacks mit der Polkernggruppe ist zur Raumerparnis in der Figur fortgelassen. B Embryosack von *Alchemilla pastoralis*. Neben der unbefruchteten Eizelle ist auch eine Synergide zum Embryo geworden. Ein mittleres Stück des Embryosacks ist in der Figur fortgelassen worden. Beide Figuren sind sehr stark vergrößert (nach Murbeck).

seiner Elemente der rudimentären x-Generation in den normalen Samenanlagen ähnlich ist, mag sich daraus erklären, daß die den normalen Embryosack vertretende vegetative Zelle sich unter genau den gleichen räumlichen Verhältnissen und unter denselben Wechselbeziehungen zu dem umgebenden Gewebe der Samenanlage befindet, wie ein normaler Embryosack.

Unter diesem Gesichtspunkt stellt sich die vermeintliche Parthe-

nogenesis als eine rein vegetative Vermehrung dar, die Hand in Hand geht mit einer gänzlichen Unterdrückung der geschlechtlichen Generation. Daß es dabei gerade die anstelle der Eizelle auftretende vegetative Zelle ist, von welcher die Weiterentwicklung ausgeht, mag darauf beruhen, daß diese Zelle ihrer Entwicklung und ihrer Anlage nach am besten ernährt ist. Übrigens sind auch Fälle bekannt, in denen die Embryobildung von anderen Zellen der Samenanlage ausgehen kann. So wachsen im Embryosack der parthenogenetischen Alchemillen bisweilen auch Synergiden zum Embryo aus, oder es dringt eine vegetative Zelle des Nucellus in den Embryosack ein, um einen Embryo zu bilden. Als Zierpflanze wird wegen ihrer großen eirunden Blätter und ihrer blaublütigen Trauben gelegentlich in Gärten die Funkia (*Funkia ovata* oder *Hosta caerulea*) gezogen, eine in die Verwandtschaft der Lilienblütigen gehörige Pflanze. Sie bildet in ihren Samenanlagen einen normalen Embryosack mit Eiapparat, Antipoden und Polkerne aus. Die Eizelle wird nicht zum Embryo. Aber von den, in der Nachbarschaft des Eiapparates liegenden vegetativen Zellen des Nucellus beginnen einige ein üppiges Wachstum. Sie teilen sich, und werden zu Gewebehöckern, die in den Embryosack hineinragen, und endlich wachsen diese Gewebehöcker zu normalen Embryonen heran, die von Endosperm und Samenschalen umgeben eine Samenreife durchmachen und später durch die Keimung der Samen zu neuen Pflanzen werden können.

Wir finden bei der Funkia demnach mehrere aus vegetativen Zellen hervorgegangene Embryonen im Samen. Man hat diese Erscheinung als Polyembryonie bezeichnet. Ob hier, und in ähnlichen Fällen der Embryosackförmigen durch die normale Reduktionsteilung aus dem Kern der Mutterzelle hervorgegangen ist, und nur die einfache Chromosomenzelle befruchtet, oder ob wie bei den oben beschriebenen Fällen von Parthenogenese auch hier eine gänzliche Ausschaltung der x -Generation die vegetative Vermehrung begünstigt, ist noch nicht sichergestellt.

Wie dem auch sein mag, alle die Fälle, in denen bei Blütenpflanzen ohne vorausgegangene Befruchtung eine Ausbildung keimfähiger Samen eintritt, stellen sich als ein Fortschritt auf dem Wege dar, den die Entwicklung des Generationswechsels von den Moosen aufwärts bis zu den Angiospermen genommen hat. Während bei den Moosen die $2x$ -

Generation noch als ein Anhängsel der x -Generation erscheint wesentlich dazu bestimmt, eine Anzahl von Sporen hervorzu- bringen, überwiegt bei den echten Farnen bereits die $2x$ -Gene- ration bedeutend. Die Farnpflanzen mit zweierlei Sporen weisen eine weitgehende Vereinfachung der x -Generation auf, sie ver- liert ihre Selbständigkeit, und wenn sie ihre Entwicklung auch nicht in körperlicher Verbindung mit der $2x$ -Generation durch- läuft, so ist sie doch in ihrer Ernährung ganz auf die Nähr- stoffe angewiesen, welche die $2x$ -Pflanzen der Spore mitge- geben hat. Bei den Gymnospermen ist die x -Generation da- durch in noch größere Abhängigkeit von der $2x$ -Generation ge- langt, daß die Makrospore nicht mehr frei wird, sondern ihren Entwicklungsgang im Verbande mit dem Gewebe der Samen- anlage durchzumachen hat. Bei den Angiospermen mit normaler Befruchtung ist die Vereinfachung der x -Generation soweit fort- geschritten, daß von ihr nur noch 8 Zellen in ihren Kernen nachweisbar sind. Endlich bei denjenigen Angiospermen, welche ohne Befruchtungsvorgang keimfähige Samen liefern, ist der letzte Schritt auf diesem Wege erfolgt: die x -Generation ist ganz aus dem Generationswechsel ausgeschaltet. Die Kerne mit doppelter Chromosomenzahl, welche auf den niederen Stufen des Befruchtungsvorganges immer wieder neu durch Ver- schmelzung gebildet werden müssen, sind bei diesen höchstent- wickelten Formen konstant in allen Zellen. Die Spaltung der vereinigten Chromosomen unterbleibt, das Auftreten der $2x$ -Kerne bei der Nachkommenschaft ist damit von den Zufälligkeiten, denen der Befruchtungsvorgang unterliegt, unabhängig gemacht und für alle Fälle gesichert. Ein Vorteil freilich geht den Pflanzen, die aus vegetativen Embryonen Nachkommen bilden, verloren. Das Erbgut, welches ihren Entwicklungsgang beherrscht, wird nicht am Anfang jeder Generation neu gemischt und die Mög- lichkeit, durch diese Mischung zu neuen Formen fortzuschreiten, fällt weg.

Man begegnet nicht selten der Anschauung, daß der wesent- liche Nutzen der Befruchtung gewissermaßen in einer Blutsauf- frischung bestehe, daß durch ihn eine Degeneration der Art hintangehalten würde. Wenn diese Anschauung zu recht bestände, so wäre allerdings die Unterdrückung der x -Generation als ein Nachteil zu betrachten. Indessen beweist die Erfahrung mit gewissen Kulturpflanzen, welche seit Jahrhunderten oder

Jahrtausenden nur durch vegetative Vermehrung fortgepflanzt worden sind, daß die Arten auch ohne Befruchtung sich in ihrem Bestande erhalten, und ihre Lebensfrische und Widerstandsfähigkeit nicht einbüßten. Die Kartoffel wird im Feld- und Gartenbau nur durch ihre Knollen vegetativ vermehrt, ohne daß ein Nachlassen ihre Lebenskraft oder eine Entartung an ihr bemerkbar geworden wäre. Der Weinstock, der zu den ältesten Kulturgewächsen in der Pflege der Menschen gehört, wird durch Stecklinge vermehrt. Dasselbe gilt von Pappeln und Weiden, von Erdbeeren und vielen andern einheimischen Nutzpflanzen, von ausländischen mögen der Feigenbaum und die Paradiesfeige oder Banane genannt sein, deren Nutzbarkeit ebenso wie ihr Wachstum und ihre Gestalt trotz der Jahrtausende langen Fortpflanzung auf vegetativem Wege keine Anzeichen von Entartung und Altersschwäche erkennen lassen.

Insofern als sich die geschilderten Beispiele von Parthenogenesis bei Blütenpflanzen als eine Ausschaltung oder Überspringung der Geschlechtsgeneration bei der Hervorbringung der Nachkommenschaft darstellen, kann an sie eine Reihe von Fällen angeschlossen werden, in denen die Abschwenkung zur vegetativen Fortbildung nicht erst im Embryosack, sondern schon viel früher vor sich geht. Von dem Alpen-Rispengras (*Poa alpina*) findet man im Gebirge nicht selten Stöcke, die auf dem Gipfel schlanker Halme eine normal und reichlich verzweigte Blütenrispe gebildet haben. In den Spelzen der Ährchen aber, in denen an normalen Exemplaren die Einzelblüten stehen, finden sich kleine Keimpflanzen, die von den Rispenästen losgelöst, sich bewurzeln und zu neuen Pflanzen heranwachsen. Der Vegetationspunkt des einzelnen Ährchens, der bestimmt war, die seitlichen Vegetationspunkte abzugeben, aus denen die generativen Elemente in den einzelnen Blüten sich ableiten, ist vegetativ geblieben und direkt zur Anlage der jungen Pflanzen geworden. Ähnlich treten an ährenförmigen Blütenständen des spitzkeimenden Knöterichs (*Polygonum viviparum*) statt einzelner Blüten purpurrote Brutknospen auf, deren Vegetationspunkt den Ausgangspunkt für eine neue Pflanze bilden kann.

In besonderer Weise wird im Entwicklungsgang einiger Farne die Ausbildung von Geschlechtsorganen und der Befruchtungsvorgang umgangen. An den Vorkeimen einer Spielart des Frauenstrichfarns (*Athyrium filix femina* var. *cri-*

stata) und bei einigen ausländischen Farnen hat man beobachtet, daß statt der Archegonien an der Unterseite des Vorkeimschüppchens ein Zellhöcker entsteht, der direkt zu einer Farnpflanze auswachsen kann, indem an ihm ein erstes Blatt einer Wurzelanlage und der Vegetationspunkt des Sprosses auftritt. Hier wächst also ohne daß ein Befruchtungsvorgang stattgefunden hat die $2x$ -Generation aus der x -Generation hervor. Man bezeichnet diesen Vorgang als Geschlechtsverlust oder Apogamie.

Das Verhalten der Zellkerne ist in diesen Fällen noch nicht deutlich und einwandfrei klar gestellt. Wir müssen annehmen, daß die Kerne der so entstandenen Farnpflanze die doppelte Zahl der Chromosomen besitzen, während den Vorkeimzellen einfache Kerne eigen sind. In welcher Weise hier die Verdoppelung der Chromosomenzahl erreicht wird, ist noch nicht in erwünschter Klarheit durch Beobachtung festgestellt. Für einen einzelnen Fall ist angegeben worden, daß die Kerne vegetativer Vorkeimzellen mit einander verschmelzen und dadurch den Doppelpfaden für diejenigen Zellen liefern, welche den Anfang des vegetativ entstehenden Keimpflänzchens bilden. Ebenso wohl ist auch denkbar, daß der Kern einer einzelnen vegetativen Vorkeimzelle seine Chromosomen wie im Teilungsvorgange spaltet, und daß dann die so entstandene doppelte Chromosomenzahl nicht auf zwei Tochterkerne verteilt wird, sondern einen einzigen Kern bildet, der seiner Zelle die Fähigkeit verleiht zur Anlage einer $2x$ -Pflanze zu werden.



Abb. 31. Alpenrispengras (*Poa alpina*), dessen Rispe statt der Ährchen junge Pflänzchen hervorbringt. a ein einzelnes umgebildetes Ährchen. (Nach Kerner.)

Wie bei der Apogamie an den farnvorkeimen Zellen mit doppelter Chromosomenzahl im Kern ohne normalen Befruchtungsvorgang aus vegetativen Zellen hervorgehen, so entstehen bisweilen an farnpflanzen ohne Sporenbildung Zellen mit einfachen Kernen, die die Natur von Vorkeimzellen besitzen. Es sprossen dann aus einer Randzelle des farnblattes oder aus einer haarzelle oder aus der Anlage eines Sporangiums direkte Vorkeimlappen hervor, die sich normal zur Ausbildung von Antheridien und Archegonien fortentwickeln können. Hier werden also die Sporenbildung und die zu ihr führenden Teilungsvorgänge einer vorgebildeten Sporenmutterzelle umgangen oder übersprungen; man bezeichnet den Vorgang deshalb als Aposporie.

Da wir annehmen müssen, daß auch die durch Aposporie entstandenen Vorkeimzellen nur die einfache Chromosomenzahl aufweisen, so dürfen wir erwarten, daß diejenige Zelle der 2x-Generation, welche zum Vorkeim auswächst, eine Reduktionsteilung ihres Kernes durchmacht, sodaß jede Tochterzelle nur die einfache Chromosomenzahl erhält. Eine direkte Beobachtung dieses Vorganges steht noch aus.

Aposporie und Apogamie erwecken den Eindruck, als ob bei den farnen die Chromosomen der vegetativen Zellkerne sich leichter als in andern Pflanzengruppen zu Doppelkernen vereinigen, oder aus der Verdoppelung zu einfacher Zahl zurückkehren. Besonders sprechen dafür die in neuester Zeit eingehend untersuchten Vorkeime einer ausländischen farnart, welche scheinbar ohne äußeren Anlaß streckenweise Blattzellen der Sporenpflanze mit den diesen eigenen Zellformen und Haaren ausbilden um dann wieder stellenweise als Vorkeime weiter zu wachsen. Auch das höchst eigentümliche Verhalten einiger Klee-farnarten (Marsilia) läßt den Schluß zu, daß hier die Erhebung der Chromosomenzahl auf die doppelte Größe im Kern einer Zelle verhältnismäßig leicht erfolgen kann.

Die Klee-farne gehören zu denjenigen farnartigen Gewächsen, welche wie das früher besprochene Brachsenkraut zweierlei Sporen, Mikrosporen und Makrosporen entwickeln. Die Makrosporen keimen ähnlich wie diejenigen des Brachsenkrautes, und liefern ein nicht sehr umfangreiches weibliches Prothallium, daß teilweise in der Sporenhaut stecken bleibt und in der Nähe seines durch Zerspaltung der Sporenwand frei werdenden Scheitels eine Anzahl von Archegonien bildet. Die normale Befruchtung

der Eizelle wird durch ein Spermatozoid bewirkt, das in einer keimenden Mikrospore entstanden ist.

Wenn man in einem Glasgefäß die isolierten Makrosporen in Wasser aussetzt, so bleibt bei einigen Arten die Entwicklung eines Embryos wegen des Fehlens der befruchtenden Spermatozoiden gänzlich aus, bei andern Arten aber entwickeln sich einzelne unbefruchtete Eizellen parthenogenetisch zu normalen Embryonen. Die Zahl der Fälle in denen die Parthenogenese eintritt ist nach Abstammung der Sporen eine wechselnde. Nach den Angaben eines neueren Untersuchers scheint es, als ob man diese Zahl im einzelnen Versuch erhöhen oder erniedrigen kann, wenn man die weiblichen Prothallien höheren oder niederen Wärmegraden aussetzt. Durch Steigerung der Temperatur über ein gewisses Mittel sollen danach hier solche Eizellen, die bei normaler Temperatur der Befruchtung bedürfen zu parthenogenetischer Entwicklung befähigt werden. Die Wärme würde also hier einen äußeren Faktor bilden, der ebenso wie die Befruchtung dem Ei seine Entwicklungsfähigkeit zurückgeben kann.

Wenn dieselben Eizellen, welche in abnorm hoher Wärme ohne Befruchtung Embryonen liefern, in gemäßigter Temperatur normal durch Spermatozoiden befruchtet werden können, so muß angenommen werden, daß diese Eizellen auch hinsichtlich der Zahl der Chromosomen ihres Kernes die normalen Verhältnisse aufweisen, und daß bei ihnen eine Verdoppelung der Chromosomen erforderlich ist, wenn sie ohne Befruchtung zu einem Embryo auswachsen sollen. Vorausgesetzt, daß die Angaben über den Einfluß der Temperatur sich als richtig erweisen, müssen wir schließen, daß der Eifern hier einen Zuwachs an Chromosomen entweder dadurch erhält, daß der Keim einer vegetativen Nachbarzelle, mit dem Eifern verschmilzt, oder daß der Eifern nach seiner ersten Teilung die durch Spaltung verdoppelte Chromosomenzahl zu einem einzigen Kerngerüst vereinigt. Es ist allerdings auch die Annahme nicht ganz von der Hand zu weisen, daß bei den zu parthenogenetischer Entwicklung befähigten Kleefarnen die Reduktionsteilung bei der Makrosporenbildung ausbleibt und daß damit auch die vegetativen Zellen des weiblichen Vorkeims samt den Eizellen in ihren Kern die doppelte Chromosomenzahl erhalten.*) Diese Annahme würde sich leicht mit der Tatsache

*) Eine während des Druckes erschienene Arbeit Strasburgers bestätigt diese Annahme.

vereinigen lassen, daß in dem Makrosporangium der Kleeearne immer nur eine einzige Makrospore ausgebildet wird. Die Möglichkeit einer Befruchtung unter normalen Verhältnissen würde dann dahin zu deuten sein, daß der Eintritt eines Spermatozoids in das Ei nur den Anstoß zur Weiterentwicklung gibt, ohne daß die chromatischen Elemente des Spermaferns in den Keimkern aufgenommen werden. Volle Aufklärung über diese Verhältnisse kann nur von einer genauen Untersuchung des Verhaltens der Kerne bei dem Übergang von der Sporenpflanze zum Vorkeim und von diesem zum parthenogenetischen Embryo erwartet werden.

Das zweite Moment, welches uns neben der Wiederegung der verloren gegangenen Entwicklungsfähigkeit der Geschlechtszellen als eine bedeutsame Folge des Befruchtungsvorganges erschien, ist die Vereinigung des väterlichen und mütterlichen Erbgutes in der Keimzelle. Der bedeutsamste Vorteil, welcher der Pflanzenwelt aus dem Vorgang der Kernverschmelzung im Befruchtungsvorgang erwachsen ist, muß darin gesehen werden, daß dieser Prozeß zur Ausbildung einer $2x$ -Generation geführt hat, deren Kernorganisation eine viel weitergehende Differenzierung der Zellen, der Gewebe und der organischen Gliederung des Pflanzentkörpers ermöglichte, als von der x -Generation erreicht worden ist. Es fragt sich aber, ob auch die fortwährende Erneuerung der Kernmischung von Generation zu Generation den Pflanzenformen einen gewissen Vorteil bietet, der es erklärlich macht, daß die umständlichen Vorgänge der Chromosomenreduktion und Kernverschmelzung mit den sie vorbereitenden und ihnen folgenden Entwicklungsschritten auch in der Gegenwart bei den $2x$ -Pflanzen noch fortgeführt werden. Daß die Mischung des Erbgutes nicht als eine unerläßliche Vorbedingung für das Gedeihen der Nachkommenschaft angesehen werden darf, wurde bereits oben dargestellt mit dem Hinweis auf die Fälle Jahrhunderte und Jahrtausende langer Fortzuchtung gewisser Kulturpflanzen auf vegetativem Wege. Die weite Verbreitung des Mischungsvorganges im Reiche des Organischen und die oft umständlichen Einrichtungen und Vorgänge, welche sein Zustandekommen sichern, zwingen uns zu dem Schluß, daß derselbe wenigstens nicht in allen Fällen als ein nutzloses Überbleibsel eines früher nutzbringenden Entwicklungsschrittes und als eine mehr zufällige Begleiterscheinung der zur Erzeugung einer Nachkommenschaft nötigen

Entwicklungsvorgänge angesehen werden darf, sondern an sich für die Organismenwelt einen gewissen Nutzen bringt. Welcher Art dieser Nutzen sei, darüber existieren nur Vermutungen. Bei den niederen Pflanzen denen eine $2x$ -Generation fehlt, ist die Mischung des Erbgutes nur von geringer Dauer. Schon der erste Teilungsschritt der durch den Befruchtungsvorgang mit doppelter Chromosomenzahl im Kern versehenen Keimzelle trennt die väterlichen und mütterlichen Vererbungsträger wieder. Vor ihrer Trennung weisen sie eine innige Verschmelzung auf, die geeignet erscheint, eine Abgleichung der während der vegetativen Entwicklung erworbenen individuellen Verschiedenheiten der Erbmassen herbeizuführen. In der $2x$ -Generation der höheren Pflanzen findet aber diese innige Verschmelzung der individualisierten Vererbungsträger erst am Ende der vegetativen Entwicklung statt, wenn neue Geschlechtszellen gebildet werden. Während der ganzen vegetativen Entwicklung aber sind die individuell verschiedenen Erbmassen des Vaters und der Mutter in jeder Zelle nebeneinander in Wirksamkeit. Wir haben die gemeinsame Wirksamkeit der korrespondierenden Anlagen im fünften Abschnitt in einigen Beispielen verfolgt. Wir haben gesehen, daß bisweilen der gemeinsame Einfluß individuell verschiedener Anlagen eine Mischung der von ihnen bedingten Merkmale herbeiführt, daß in anderen Fällen nur die eine Anlage zur Wirksamkeit kommt, während die andern latent in der Erbmasse mitgeführt wird, um später in einer folgenden Generation, wenn sie aus der Verbindung mit der dominierenden Anlage gelöst wird, in unveränderter Weise zur Geltung zu kommen. Die Anlagen oder was daselbe sagt, die Elemente der Erbmasse, welche die Chromosomen der Kerne zusammensetzen, erweisen sich demnach als unveränderliche Einheiten, die wohl vorübergehend in ihrer Wirksamkeit durch das bei der Kernverschmelzung hinzu tretende korrespondierende Element des anderen Elters beeinflusst werden können, die aber in der Nachkommenschaft unter günstigen Umständen wieder unverändert zu Tage treten. Daraus ergibt sich, daß durch die Mischung des Erbgutes keine neuen Merkmale entstehen, daß nur neue Kombinationen der bereits bei den Vorfahren wirksam oder latent vorhandenen Anlagen gebildet werden können. Für die Entstehung neuer Pflanzenarten kommt also die Mischung dieser unveränderlichen Elemente des

Erbgutes nur in geringem Maße, nur in sofern in Betracht als neue Kombinationen von Merkmalen in den Nachkommen dauernd fixiert werden können.

Wir haben aber bei dem Studium des Verhaltens der als Einheit vererbbaaren Merkmale nur solche korrespondierende Eigenschaften in Betracht gezogen, die in ihrem Bestande von der Einwirkung äußerer Umstände während des Entwicklungsganges des Individuums unabhängig sind, weiße und rote oder gelbe Blütenfarbe, Stärkegehalt und Zuckergehalt der Samen, einfache und geteilte Blattfläche, ganzrandige und gesägtrandige Blätter. Nehmen wir Merkmale anderer Art, deren Wert durch die äußeren Lebensverhältnisse mit bestimmt wird, so wird das Resultat ein wesentlich anderes.

Die durch den Einfluß äußerer Umstände mit bestimmten Eigenschaften lassen sich nur schwer in eindeutiger Weise bezeichnen, weil sie Schwankungen aufweisen, die die Charakteristik des Merkmals verdecken. Um trotzdem mit bestimmten Größen rechnen zu können, müssen wir in solchen Fällen aus einer möglichst großen Anzahl von Zählungen oder Messungen die Mittelwerte bestimmen. Nehmen wir als ein Beispiel die Länge des Blattes bei einer Weide. Wir pflücken von einem Weidenzweig alle Blätter und ordnen dieselben aufrecht neben einander auf einer geraden Grundlinie in gleichen Abständen von einander so an, wie man die Soldaten in einer Kompagnie oder die Schüler einer Turnriege nach der Größe ordnet. Wir beginnen links mit dem größten Blatt, dann folgt das zweitgrößte, drittgrößte und sofort bis zum kleinsten Blatt. Verbinden wir dann die Blattspitzen durch eine Linie, so zeigt diese Linie nicht einen geraden Verlauf; sondern sie fällt anfangs ziemlich schnell, dann allmählich langsamer abwärts bis zu einer mittleren Höhe auf der sie sich eine längere Strecke fast parallel mit der Grundlinie hält, und gegen das Ende der Anordnung fällt sie allmählich immer steiler bis zum kleinsten Blatt abwärts. Wir ersehen daraus, daß die Länge der einzelnen Weidenblätter sich um einen Mittelwert derart gruppiert, daß die meisten Blätter dem Mittelwert nahe kommen; je weiter sich die Größe von dem Mittelwert entfernt, um so geringer ist die Zahl der Blätter die ihr entspricht. Wenn wir statt eines Zweiges die Blätter mehrerer Zweige desselben Strauches zu dem Versuch verwenden, so bekommen wir zunächst vielleicht noch geringe Verschiebungen

des Mittelwertes, schließlich aber erscheint dieser Mittelwert konstant, er wird durch weitere Vergrößerung des statistischen Materials nicht mehr wesentlich verändert. Die Abweichung des einzelnen Blattes von diesem konstanten Mittelwert bezeichnet man als die partielle Variation des Merkmals. Nehmen wir ein anderes derartiges Merkmal etwa das Gewicht der Samen einer Bohne, oder die Zahl der Randblüten in dem Köpfchen einer Komposita, so können wir den Mittelwert durch Zählung oder Messung in einer möglichst großen Anzahl von Fällen bestimmen. Wir werden auch dann wieder die Erfahrung machen, daß die Zahl der Fälle um so geringer wird, je weiter sich ihr Wert nach der einen oder der andern Seite hin von dem Mittelwert entfernt. Die erbliche Anlage, welche die Blattgröße, das Samengewicht usw. einer Pflanze bestimmt, ist demnach eine eindeutige Größe, im einzelnen Fall aber ist das von ihr beeinflusste Merkmal abhängig von äußeren Umständen. Die der erblichen Anlage entsprechenden Mittelwerte können bei verschiedenen Pflanzen der gleichen Art unter gleichen äußeren Umständen individuell verschieden sein. Wenn wir z. B. auf einem Felde neben einander erwachsene Bohnen auf ihre Samengröße mit einander vergleichen, oder auf einem Weizenfelde das Durchschnittsgewicht der aus den einzelnen Ähren geernteten Körner neben einander stellen, so bekommen wir wiederum ein ähnliches Resultat wie bei der partiellen Variation. Die Durchschnittszahlen gruppieren sich ebenso wie dort um einen Mittelwert in der Art, daß jede Abweichung vom Mittelwert um so seltener angetroffen wird, je weiter sie sich von ihm entfernt. Man bezeichnet diese Verschiedenheit der einzelnen Individuen in einem Artverbande als die individuelle Variation, ihre Ursache ist die individuelle Verschiedenheit der im Erbgut enthaltenen Anlagen.

Indem nun im Befruchtungsvorgange die individuell verschiedenen Anlagen immer wieder in der verschiedensten Weise mit einander kombiniert werden, erhält die durch die Gesamtheit der Nachkommenschaft repräsentierte Art die Fähigkeit, den Zufälligkeiten der äußeren Umstände in dem weitgehendsten Maße in der Ausbildung der Individuen Rechnung zu tragen, der Bestand der Art wird dadurch auch gegenüber abnormen Schwankungen der in Klima und Bodenbeschaffenheit gegebenen Lebensbedingungen gesichert.

Ich will versuchen, das an einem einfachen Beispiel klar zu machen, indem ich der Deutlichkeit halber extreme Verhältnisse voraussetze. Die Größe der Blattfläche ist ein innerhalb gewisser Grenzen variables Merkmal. Die Blattgröße steht in Beziehung zu dem Licht und zu der Feuchtigkeit des Bodens. Eine Pflanze mit durchschnittlich größeren Blättern kann unter übrigens gleichen Verhältnissen in einem Sommer mit vielen trüben Tagen die zur Erreichung der Blühreife und Samenbildung nötige Nahrungsmenge leichter beschaffen als eine Pflanze der gleichen Art mit kleinerer Durchschnittsgröße der Blätter. Umgekehrt ist die kleinblättrige Pflanze in einem trocknen Sommer leichter imstande den für sie ausreichenden Wasserbedarf zu beschaffen als die artgleiche Pflanze mit durchschnittlich größeren Blättern. Nehmen wir nun an, daß bei einer einjährigen Pflanzenart, die eine großblättrige und eine kleinblättrige Race besitzt eine Mischung des Erbgutes ausbliebe, daß die Nachkommen wie die Eltern, entweder nur große oder kleine Durchschnittsgröße der Blätter aufweisen, so würden in einem abnorm trocknen Sommer die großblättrigen Formen verkümmern, in einem Jahr mit abnorm hoher Zahl an trüben Tagen die kleinblättrigen Nachkommen nicht zur normalen Entwicklung kommen. Der Bestand der Art wäre durch die Aufeinanderfolge zweier Jahre mit extremen Verhältnissen gefährdet. Tritt dagegen die Mischung des Erbgutes ein, so bleibt auf jeden Fall die Anlage in trocknen hellen Sommern kleinblättrige Individuen, in einem feuchten trüben Sommer großblättrige Pflanzen zur Blühreife und Fruchtbildung zu bringen erhalten und damit der Bestand der Art für alle Schwankungen der in Betracht kommenden äußeren Verhältnisse gesichert. Der Nutzen den die Mischung des Erbgutes in Beziehung auf die variablen Merkmale bringt, besteht also darin, daß die Gesamtheit der Individuen einer Art in ihren Bau- und Lebensverhältnissen dem Wechsel der äußeren Verhältnisse besser angepasst wird als es der Fall wäre, wenn die Anlagen und die von ihnen abhängigen Merkmale starr und unveränderlich auf die Nachkommen übergingen. Neue Formen mit besseren Eigenschaften können durch die Mischung des Erbgutes allein nicht entstehen, aber der Vorteil der gesamten Variabilität, welche der Art als Ganzes zukommt, bleibt in den Nachkommen unverfälscht erhalten, selbst wenn vorübergehende Verhältnisse eintreten, unter denen ein extrem variirender Teil der Artgenossen nicht existieren kann.

So können wir wohl in der Mischung des Erbgutes für den Bestand der Arten einen Nutzen erblicken, der es erklärlich macht, daß der in einzelnen Fällen entbehrlich erscheinende Befruchtungsvorgang in so vielen Fällen mit Aufwand eines großen Bildungsmaterials und oft unter den kompliziertesten Gestaltungsverhältnissen sich bis in die Gegenwart erhalten hat. Aber selbstverständlich gelten die obigen Erwägungen nur für den Fall, daß eine wirkliche Fremdbefruchtung stattfinden kann. Bei der Nachbarbefruchtung, d. h. wenn die Befruchtung zwischen den Blüten desselben Stockes erfolgt und bei Selbstbefruchtung im Innern einer einzelnen Blüte kann die Mischung des Erbgutes keine neue Konstellation individuell variirender Eigenschaften mit sich bringen. Sie ist überflüssig bei solchen Arten, deren partielle Variabilität innerhalb so weiter Grenzen sich bewegt, daß durch sie allen Schwankungen der äußeren Faktoren durch ausreichende Abänderung des Entwicklungsganges und der Form entsprochen wird. Nachbarbefruchtung und Selbstbefruchtung erscheinen demnach schon als rückschreitende Abwandlungen des Befruchtungsvorganges, deren Vorteil für die Art nur noch in der Ergänzung der Chromosomenzahl im Eiern und in der Anregung des Eies zur Weiterentwicklung gesehen werden kann.

Es bleibt mir zum Schluß noch die Aufgabe einen scheinbaren Widerspruch aufzuklären. Ich habe die Wandlungen, welche der Befruchtungsvorgang in den verschiedenen Abteilungen des Pflanzenreiches aufweist, so dargestellt, als ob sie verschiedene Phasen eines einheitlichen Entwicklungsganges seien. Die Grundlage meiner ganzen Darlegung bildet also die Annahme, daß die höchststehenden Formen ihre gegenwärtige Organisationshöhe erst im Laufe einer langen Stammesentwicklung erreicht haben. Andererseits aber hat sich ergeben, daß bei der Vererbung die einzelnen Merkmale als unveränderliche Einheiten auf die Nachkommen übergehen. Wenn auch die Kombination der Merkmale in den Nachkommen eine andere sein kann, als bei den Vorfahren, die Merkmale selbst und damit die durch sie gegebene Organisationshöhe bleibt im Erbgange bei den Nachkommen unverändert. Wenn aber die Artcharaktere von Generation zu Generation unwandelbar sind, wie soll dann aus einer niederorganisierten Form im Laufe der Stammesgeschichte eine höherorganisierte hervorgehen können?

Zunächst ist hervorzuheben, daß die Stammesgeschichte der

Arten unermessliche Zeiträume umfaßt, während die Erfahrungen aus welcher wir die Unveränderlichkeit der erblichen Anlagen und der durch sie bedingten Artmerkmale ableiten, sich auf eine verhältnismäßig kurze Zeitspanne beziehen. Kann nicht die ständige äußere Beeinflussung des Ernährungsvorganges, durch welchen die nach jeder Kernbildung auf die Hälfte reduzierte Masse des Kerngerüsts auf ihr früheres Maß ergänzt wird, wie jeder Stoffwechselvorgang zu anfangs unmerklichen, aber sich im Laufe der Jahrhunderte und Jahrtausende summierenden Abänderungen führen, welche in den Teilungsschritten auch auf die Geschlechtskerne übergehen? Selbst die Annahme steht mit unsern Anschauungen von der Beschaffenheit der Erbmasse nicht im Widerspruch, daß infolge der partiellen Variabilität an einer Pflanzenart durch den fortwirkenden Einfluß äußerer Umstände eine Konstellation der Organe, Gewebe und Zellen entstehen kann, welche durch die Wechselbeziehung aller Teile des Pflanzkörpers zu einander eine merkliche und im Laufe der Generationen durch Summierung sich steigende Abänderung der Kernstruktur und damit auch der spezifischen Art der Erbmasse herbeiführt. Endlich wissen wir aus der Erfahrung, daß an Pflanzen sprungweise Abänderungen auftreten können, daß plötzlich und unvermittelt neue Merkmale an den Nachkommen bemerkbar werden können, welche von ihrem ersten Auftreten an erblich gefestigt sind, so daß sie für die Folgezeit allen Nachkommen in der Anlage mit dem Erbgut übertragen werden. Man bezeichnet das sprungweise Auftreten neuer erblicher Merkmale bei einer Pflanzenart als Mutation. Die Theorie der Vererbung erfordert die Annahme, daß in solchen Fällen in die Organisation der Erbmasse mindestens ein neues Element eingeführt worden ist. Woher dieses neue Teilchen der Erbmasse gekommen ist, ob es unmittelbar vor dem Auftreten des neuen Merkmales plötzlich erschienen ist, oder ob es langsam im Laufe der Generationen sich herausgebildet hat und vorerst im latenten Zustande mit vererbt worden ist, bis ein letzter Entwicklungsschritt es für uns in dem neuen Merkmal offenbar werden ließ, ob der Ausgangspunkt für seine Anlage in der inneren Organisation des Kernes begründet war, oder ob äußere Einflüsse auf den Kern sein Entstehen veranlaßten oder begünstigten, ob über das Auftreten solcher plötzlichen Änderungen der Erbmasse und damit der *Merkmale* ein blinder Zufall waltet, oder ob eine aus dem

Wesen der Konstruktion abzuleitende Gesetzmäßigkeit es bedingt und ihm den Zeitpunkt bestimmt — diese Fragen und viele andere mehr sind für das tiefere Verständnis des ganzen Entwicklungsproblem es in seinem Zusammenhange mit der Befruchtung und Vererbung von außerordentlicher Bedeutung, ihre Beantwortung wäre geeignet, unsere Anschauungen über den Werdegang der organischen Welt auf eine sichere mechanische Grundlage zu stellen.

Vor der Hand läßt uns hier die Wissenschaft im Stich. In Hinblick auf solche Fragen gilt auch heute noch Seibels Vers:

Jede sprossende Pflanze
Die mit Düften sich füllt,
Trägt im Kelch das ganze
Weltgeheimnis verhüllt.

Literatur.

Die Kenntnis von den Tatsachen, auf denen die vorstehende Darstellung der Befruchtung und Vererbung im Pflanzenreich begründet ist, verdanken wir einer großen Reihe von wissenschaftlichen Untersuchungen zahlreicher Botaniker. Die Namen aller dieser Forscher zu nennen und die Titel ihrer Arbeiten hier anzugeben verbietet die Rücksicht auf den Raum. Um aber dem Leser, der den Quellen nachzuforschen wünscht, und der über Einzelheiten nähere Aufschlüsse sucht, den Weg zu zeigen, will ich hier zum Schlusse auf einige wissenschaftliche Werke aufmerksam machen, welche die in den vorhergehenden Kapiteln besprochenen Tatsachen eingehender behandeln, und welche zugleich die Hinweise auf die Spezialliteratur enthalten.

Wir haben im ersten Abschnitt gesehen, daß die Vererbung der körperlichen Eigenschaften bei der vegetativen Vermehrung in der spezifischen Organisation der Erbmasse, das ist des von der Mutterpflanze an die Nachkommen abgegebenen Teilstückes ihre Erklärung findet. Wo das Erbgut wie bei den Sporen der blütenlosen Pflanzen eine einzige Zelle ist, sahen wir die Möglichkeit der Wiederkehr spezifischer Eigenschaften bei den Nachkommen hauptsächlich durch die äußerst komplizierte Struktur des Zellkerns gewährleistet, der seine Baueigentümlichkeiten im Zellteilungsvorgang an alle Kerne der jungen Pflanze weitergibt.

Auch bei der geschlechtlichen Fortpflanzung spielen die Vor-

gänge in und an den Zellkernen der Geschlechtszellen eine bedeutende Rolle. Die Kernverschmelzung und die Wiederverteilung der Kernelemente bei der heterotypischen Kernteilung wurden zur Erklärung des Verhalten der Eigenschaften im Erbgange herbeigezogen. An der Aufklärung der feineren Strukturverhältnisse des pflanzlichen Zellkerns und der in ihm sich abspielenden Vorgänge ist eine große Reihe hervorragender Forscher beteiligt, unter denen vor allen der Bonner Botaniker Strasburger nebst seinen zahlreichen Schülern mit Ruhm genannt werden muß. Eine Zusammenstellung der Untersuchungsergebnisse, die zugleich die Titel der Spezialarbeiten nachweist, ist im Jahre 1904 von Koernicke gegeben und in den Berichten der deutschen Botanischen Gesellschaft, Band XXI, Generalversammlungsheft 1, veröffentlicht worden unter dem Titel: Koernicke, „Der heutige Stand der pflanzlichen Zellforschung“. Strasburger selber hat im Jahre 1905 unter dem Titel: Strasburger, „Die stofflichen Grundlagen der Vererbung im organischen Reich“ (Jena, Verlag von G. Fischer) ein kleines Werk herausgegeben, welches die Forschungsergebnisse der Zellkernstudien in spezieller Beziehung zu den Tatsachen der Fortpflanzung und Vererbung zum Gegenstande hat.

Die einfachsten Vorgänge der geschlechtlichen Fortpflanzung haben wir im zweiten Kapitel an einer Reihe von grünen Algen kennen gelernt. Der verhältnismäßig einfache Bau dieser Pflanzen und die dadurch bei ihnen gegebene Möglichkeit, physiologische Vorgänge am lebenden Körper zu verfolgen, lassen sie als ein besonders geeignetes Material erscheinen, um die Vorgänge der Fortpflanzung und Vererbung eingehender zu studieren. Die Originalliteratur, welche die Einzelergebnisse der Algenforschung umfaßt, ist aber in zahlreichen Zeitschriften und anderen Druckwerken verstreut. Es ist deshalb freudig begrüßt worden, daß der an der Erforschung der Algen seit Jahren mitbeteiligte Professor Oltmanns in Freiburg Zeit und Mühe gefunden hat, eine Naturgeschichte der Algen nach dem heutigen Standpunkt der Forschung in einem umfassenden Werke zu veröffentlichen. Das zweibändige Werk, welches unter dem Titel: Oltmanns, „Morphologie und Biologie der Algen“ 1905 im Verlage von G. Fischer in Jena erschienen ist, hat reichen Schmuck instruktiver Textfiguren und gibt in jedem Abschnitt ausführliche Nachweise der Originalarbeiten, auf denen die Darstellung begründet ist.

Das dritte und vierte Kapitel und der erste Teil des fünften Kapitels unserer Schilderung der Fortpflanzungserscheinungen sind den Moosen, Farne und Blütenpflanzen gewidmet. Das vergleichende Studium der Gestaltungsverhältnisse der Fortpflanzungsorgane in diesen Abteilungen des Pflanzenreiches und die Aufdeckung der Homologien, welche zwischen den Fortpflanzungserscheinungen in den verschiedenen Gruppen bestehen, führt zurück auf die klassischen Arbeiten Wilhelm Hofmeisters, die in der Mitte des vorigen Jahrhunderts der botanischen Forschung neue Wege wiesen. Auf der Grundlage, die Hofmeister gegeben, haben andere weitergebaut. Besonders war es der Münchener Botaniker Goebel, der durch zahlreiche eigene Untersuchungen und durch zusammenfassende Darstellungen die Kenntnisse auf diesem Forschungsgebiete gemehrt und gesichert hat. Wir besitzen von ihm bereits aus dem Jahre 1882 ein auch heute noch nicht veraltetes Werk: Goebel, „Die Systematik und spezielle Pflanzenmorphologie“ (Leipzig, Engelmanns Verlag), welches die aufsteigende Entwicklungsreihe durch alle Pflanzengruppen verfolgt. Die klar durchdachte übersichtliche Darstellung, die auf breiter wissenschaftlicher Grundlage überall das Wesentliche heraushebt, und durch gute Abbildungen dem Verständnis des Lesers nahe bringt, hat diesem Werke als Lehr- und Handbuch in botanischen Laboratorien über Deutschlands Grenzen hinaus besonders im englisch sprechenden Auslande eine weite Verbreitung verschafft. In neuerer Zeit hat der Gelehrte, der unter den Pflanzenmorphologen unbestritten den ersten Rang einnimmt, in einem umfassenden Werke die Formverhältnisse und Gestaltungsvorgänge der Pflanzen zum Gegenstande einer alle Spezialliteratur mit den eigenen Forschungsergebnissen zusammenfassenden Behandlung gemacht, in der auch die Gestaltung und die Entwicklungsvorgänge der Fortpflanzungsorgane in eingehendster Weise zur Darstellung kommen. Dieses grundlegende Werk ist unter dem Titel: Goebel, „Organographie der Pflanzen“ im Jahre 1900 bei Fischer in Jena erschienen. Die in ihm gegebenen ausführlichen Hinweise auf die Spezialarbeiten zeigen mit fachkundigem Urteil dem Leser den Weg zu den Quellen der Forschung.

Die zweite Hälfte des fünften Kapitels unseres Büchleins beschäftigt sich mit dem Verhalten der erblich übertragbaren Merkmale bei den Nachkommen. Die Forschungen über diesen

Gegenstand reichen bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts zurück. Als Erster hat der österreichische Augustinerpater Gregor Mendel auf Grund exakter Versuche wichtige Vererbungsgesetze festgestellt. Seine Veröffentlichungen blieben aber unbeachtet, bis im Jahre 1900 ihre Wiederentdeckung erfolgte. Seither ist dann das Studium auch auf diesem Gebiete von zahlreichen Forschern, unter denen besonders Hugo de Vries, Tschermak und Correns genannt sein mögen, eifrig gefördert worden. Correns hat auf der Naturforscherversammlung in Meran 1905 in einem Vortrage die Ergebnisse der einschlägigen Untersuchungen zusammengefaßt. Seine Ausführungen sind durch Anmerkungen erweitert und mit Literaturnachweisen versehen unter dem Titel: Correns, „Über Vererbungsgesetze“ (Berlin, Borntraegers Verlag) im Druck erschienen. Weiter ausgreifend und mit besonderer Beziehung auf den in unserem sechsten Kapitel besprochenen Zusammenhang zwischen der Vererbung der Eigenschaften und der Artbildung im Pflanzenreich behandelt De Vries die Vererbungslehre in seinem zweibändigen Werke: De Vries, „Die Mutationstheorie“ (Leipzig, Verlag von Veit & Co., 1901 u. 1903). Als ein weiteres Werk des gleichen Verfassers ist eine Sammlung von Vorträgen aus dem Jahre 1906 zu nennen: De Vries, „Arten und Varietäten und ihre Entstehung durch Mutation“ (Berlin 1906. Übersetzt von Klebahn). Im ersteren der beiden Werke hat der Verfasser reichliche Hinweise auf die Originalliteratur gegeben.

Endlich mag hier noch auf ein seit 1905 im Erscheinen begriffenen hochbedeutsamen Werk hingewiesen werden, welches die Resultate der wissenschaftlichen Forschung über Befruchtung und Vererbung für die Praxis des Pflanzenzüchters nutzbar macht und die Zusammenhänge nachweist, welche zwischen der Theorie und der praktischen Erfahrung des Land- und Gartenbaues bestehen: Frühwirth, „Allgemeine Züchtungslehre der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen“ (Berlin, Verlag von Parey). Auch in diesem für Wissenschaft und Praxis gleich wertvollen Werke findet der Leser überall sorgfältige Angaben über die Originalarbeiten und damit die Gelegenheit, seine Studien bis auf die Quellen zurückzuführen.



Wissenschaft und Bildung.

Religion

Moses von Prof. Dr. K. Budde in Marburg a. L.

Das davidische Zeitalter von Prof. Dr. B. Baentisch in Jena.

* Christus von Prof. Dr. O. Holzhmann in Gießen.

Paulus von Prof. Dr. K. Knopf in Marburg a. L.

Volksleben im Lande der Bibel von Prof. Dr. Eöhr in Breslau.

Altgermanische Religionsgeschichte von Prof. Dr. Rich. M. Meyer in Berlin.

Die Gottesvorstellung der großen Denker von Prof. Dr. Schwarz in Halle.

Praktische Fragen der Theologie von Privatdoz. Lic. Dr. Niebergall in Heidelberg.

Philosophie

Die Weltanschauung der Gegenwart in Gegensatz und Ausgleich von Prof. Dr. Wenzig in Breslau.

Einführung in die Psychologie von Prof. Dr. A. Dyroff in Bonn.

Intelligenz und Wille von Prof. Dr. E. Meumann in Königsberg i. Pr.

Einführung in die Ästhetik von demselben.

Rousseau von Prof. Dr. L. Geiger in Berlin.

Geschichte und Geographie

Eiszeit und Urgeschichte des Menschen von Prof. Dr. J. Pöhlitz in Bonn.

Einführung in die Anthropologie von Direktor Prof. Dr. v. Luschán in Berlin.

* Mohammed und die Sennen von Prof. Dr. Reckendorf in Freiburg i. B.

Der Kampf um die Herrschaft im Mittelmeer von Privatdozent Dr. P. Herre in Leipzig.

Anleitung zu geographischen Beobachtungen auf Reisen von Prof. Dr. S. Passarge in Breslau.

Die Alpen von Privatdozent Dr. Machacek in Wien.

Sprache • Literatur • Kunst • Musik

* Unser Deutsch. Einführung in die Muttersprache von Geh. Rat Prof. Dr. Kluge in Freiburg i. B.

Die deutschen Mundarten von Prof. Dr. O. Bremer in Halle a. S.

Die Lehre von der Lautbildung von Prof. Dr. L. Sütterlin in Heidelberg.

* Der Sagenkreis der Nibelungen von Prof. Dr. G. Holz in Leipzig.

Die Troubadours von Privatdozent Dr. L. Jordan in München.

Die Romantik von Privatdozent Dr. H. Deetjen in Hannover.

Heinrich von Kleist von Prof. Dr. H. Koettiken in Würzburg.

Der deutsche Roman des 19. Jahrhunderts von Privatdozent Dr. f. Schulz in Bonn.

Lied und Musik im deutschen Studentenleben von Privatdozent Dr. H. Abert in Halle.

Beethoven von Prof. Dr. Freiherr v. d. Pfordten in München.

Meister der Renaissance von Prof. Dr. M. Semrau in Breslau.

Das moderne Haus und seine Innendekoration von Prof. Dr. M. Schmid in Aachen.

* Bisher erschienen.

Wissenschaft und Bildung

Vollswirtschaftslehre und Staatswissenschaften

- *Politik von Prof. Dr. F. Stier-Somlo in Bonn.
Die Erziehung zum Staatsbürger von Prof. Dr. H. Geffken in Köln.
Vollswirtschaft und Staat von Prof. Dr. A. Kindermann in Hohenheim.
Sozialismus von Prof. Dr. C. Grünberg in Wien.
Sozialpolitik und Wohlfahrtspflege in der modernen Stadt von Privatdozent Dr. A. Weber in Bonn.
Die deutsche Reichsverfassung von Geh. Rat Prof. Dr. Ph. Jörn in Bonn.
Die deutsche Reichsverwaltung von demselben.
Die deutsche Gerichtsverfassung von Prof. Dr. Risch in Straßburg.

Zoologie und Botanik

- Die Entwicklung der Tierwelt im Laufe der Erdgeschichte von Privatdozent Dr. Fr. Drevermann in Frankfurt.
Parasitismus im Tierreich von Hofrat Prof. Dr. L. von Graff in Graz.
Giftige Tiere von Prof. Dr. O. Taschenberg in Halle.
Bakterien und ihre Bedeutung von Privatdoz. Dr. H. Miete in Leipzig.
Pflanzenkunde von Prof. Dr. H. Glück in Heidelberg.
*Befruchtung und Vererbung im Pflanzenreich von Prof. Dr. K. Giesenhagen in München.
Phanerogamentkunde von Prof. Dr. Gilg in Berlin.
Kryptogamentkunde von Prof. Dr. M. Moebius in Frankfurt a. M.
Pflanze der Zimmer- und Balkonpflanzen von Gartenbauinspektor P. Dammberg in Breslau.

Mineralogie • Geologie • Astronomie • Meteorologie

- Erdgeschichte von Prof. Dr. K. Keilhack in Berlin.
Feuergewalten der Erde von Prof. Dr. H. Haas in Kiel.
Himmelskunde von Privatdozent Dr. A. Marcuse in Berlin.
Das Wetter und sein Einfluß auf das praktische Leben von Prof. Dr. C. Kaffner in Berlin.

Physik • Mechanik • Chemie • Technik

- Die Elektrizität als Licht- und Kraftquelle von Privatdozent Dr. P. Eversheim in Heidelberg.
Die neueren Forschungen auf dem Gebiete der Elektrizität und ihre Anwendung von Prof. Dr. Kalähne in Danzig.
Hörbare, sichtbare, elektrische und Röntgenstrahlen von Geh. Rat Prof. F. Neesen in Berlin.
Grundzüge der Chemie von Prof. Dr. H. Immendorf in Jena.
Wolle, Baumwolle, Leinen, Seide und Kunstseide von Prof. Dr. S. Kapff in Aachen.

Gesundheitslehre

- Lebensfragen von Prof. Dr. F. B. Ahrens in Breslau.
Das Nervensystem und die Schädlichkeiten des täglichen Lebens von Privatdozent Dr. P. Schuster in Berlin.
Moderne Chirurgie v. Geh. Rat Prof. Dr. H. Eilmanns in Leipzig.

Prospekte unentgeltlich und postfrei

VERLAG VON QUELLE

U.C. BERKELEY LIBRARIES



C026120665

Die bildende Kunst der Gegenwart

Ein Büchlein für jedermann von JOFEF STRZYGOWSKI,
ord. Professor a. d. Universität Graz. Gr. 8. XVI u. 276 S.
Mit 68 Abbildungen. Geschmackvoll broschiert M. 4.—.
in Originalleinenband 4.80.

Aus dem Inhalt: Monumentalbau — Denkmalbau — Privatbau —
Kunstgewerbe — Ornament — Bildhauerei — Zeichnung — Malerei:
Mißachtung des Gegenstandes, Malerei für Feinschmecker, Landschaft,
Monumentalmalerei, Böcklin und Goethe — Ein Blick an die Natur. —
Anhang: Kunststreit, Reichstag und Literatur.

Diese mitten in das Leben der Ge-
nisse werden durch eine freimütige
Dinge anregen, die für gewöhnlich
ausgeliefert bleiben. In geistvoller
gesamte moderne Kunschaffen in
wertet unter ständigem Rückwärtssch
ihre Leistungen und forscht nach
wird dies von echter Begeisterung
Fülle der modernen Kunstrichtungen
über stehen, klärend einw
anschauung vertiefen, und unser
innerlichen, und unser
Gemüt sich erleben

greifenden Bekennt-
s Nachdenken über
ei dem Alltagsleben
der Verfasser das
einer Untersuchung,
laufene Entwicklung
nsbedingungen. So
auf uns, die wir der
haben oft ratlos gegen-
at allzu flache Kunst-
bildenden Künsten ver-
Idealen, an denen unser
en.

198337

Prakt

BIOLOGY
LIBRARY

des modernen

Fünf Vorträge von Pfarrer
FOERSTER-Frankfurt a. Main

Pfarrer Lic. JATHO-Köln • Prof. Dr. ARNOLD MEYER-
Zürich • Privatdozent Lic. NIEBERGALL-Heidelberg • Pfarrer
Lic. TRAUB-Dortmund. Herausgegeben von Professor
Dr. H. GEFFCKEN-Köln. 8. 134 Seiten. Broschiert
M. 1.80, in Originalleinenband M. 2.20.

Aus dem Inhalt: Was halten wir von der Taufe (Traub) — Welche
Bedeutung hat für uns das Abendmahl (Jatho) — Wie erziehen wir unsere
Jugend zu wahrer Frömmigkeit (Arnold Meyer) — Konfirmationsnöte
(Niebergall) — Was sind uns die kirchlichen Bekenntnisse (Foerster)

Dies Buch will allen denen Anregungen und Hilfe bieten, welche
eine Weltanschauung gewinnen oder in sich festigen möchten, die von
unbefangenen Wahrheitssinn getragen, Glaubens- und Lebens-
söhnen sucht und sich daher gleichzeitig auch als modern nennen darf.

